

**EVALUASI PEKERJAAN STIMULASI *GREENZYME*
SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKSI
SUMUR MINYAK DI LAPANGAN LENGGOGENI**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

LENGGO NOVELITA FADHILLAH

143210321



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2019

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :
Nama : Lenggo Novelita Fadhillah
NPM : 143210321
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : Evaluasi Pekerjaan Stimulasi *Greenzyme* Sebagai Upaya Peningkatan Produksi Sumur Minyak Di Lapangan LenggoGeni

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Hj. Fitrianti, S.T., M.T. (.....)

Pembimbing II : Idham Khalid, S.T., M.T. (.....)

Penguji : Richa Melysa, S.T., M.T. (.....)

Penguji : Novrianti, S.T., M.T. (.....)

Diterapkan di : Pekanbaru

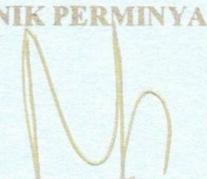
Tanggal : 15 Maret 2019

Disahkan Oleh:

DEKAN
FAKULTAS TEKNIK

Dr. H. ABD KUDUS ZAINI, MT.MS.TR

KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN


Dr. Eng. MUSLIM, M.T

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalam baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Saya bersedia dicopot Gelar dan Ijazah jika ditemukan pemalsuan data atau plagiat dari penulis lain.

Pekanbaru, 15 Maret 2019

Lenggo Novelita Fadhillah
NPM : 143210321



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhannawa Ta'ala karena atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Puji Priyanto dan ibu Dra. Emi Marienti beserta abang saya Taufan Fadillah S.E. dan adik saya M. Galang Fadillah yang memberikan dukungan penuh material maupun moral.
2. Ibu Hj. Fitrianti, ST., MT. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Idham Khalid, S.T., MT. selaku dosen pembimbing 2, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberi masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Muslim, M.T. selaku ketua prodi dan Ibu Novrianti S.T., M.T. selaku sekretaris prodi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
4. Dr. Mursyidah M.Sc. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasehat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau.
5. Bapak dan Ibu Dosen, Staf pengajar yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
6. Pihak BOB PT. BSP – Pertamina Hulu khususnya pembimbing lapangan saya bapak Rahmat Purba S.T. dan bapak Noorhermansyah S.T. yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan membimbing tugas akhir saya.

7. Teman seperjuangan kelas 14C, angkatan 2014, senior dan junior Teknik Perminyakan UIR.

Teriring doa saya, Semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 13 November 2018

Penulis

Lenggo Novelita Fadhillah



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL DEPAN	
HALAMAN SAMPUL DALAM.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAPMPIRAN.....	x
DAFTAR SINGKATAN.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.3 BATASAN MASALAH.....	2
1.4 METODOLOGI PENELITIAN.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 STIMULASI <i>GREENZYME</i>	4
2.1.1 <i>Appolo Greenzyme</i>	5
2.2 APLIKASI <i>GREENZYME</i>	6
2.3 KRITERIA STIMULASI <i>GREENZYME</i>	7
2.3.1 Jenis Sumur.....	7
2.3.2 Porositas.....	8
2.3.3 Well Status.....	8
2.3.4 Densitas dan <i>Soaking Time</i>	8
2.4 KONSENTRASI <i>GREENZYME</i>	9

2.5	PROSES STIMULASI <i>GREENZYME</i>	11
2.5.1	<i>Treatment</i>	11
2.6	PRODUKTIVITAS SUMUR.....	12
2.6.1	<i>Productivity Index (PI)</i>	13
2.6.2	<i>Inflow Performance Relationship (IPR)</i>	13
2.6.2.1	Kurva IPR Dua Fasa	14
2.6.2.2	Kurva IPR Satu Fasa.....	15
BAB III	TINJAUAN PUSTAKA	
3.1	LETAK GEOGRAFIS	16
3.2	STATIGRAFI CEKUNGAN SUMATRA.....	17
3.3	KARAKTERISTIK RESERVOIR DAN FLUIDA	18
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	ANALISA SUMUR-SUMUR PRODUKSI.....	21
4.1.1	Sumur LG #43 Sebelum dan Setelah Stimulasi	22
4.1.1.1	Perhitungan PI Untuk Sumur LG #43	23
4.1.1.2	Data CBL Untuk Sumur LG #43	27
4.1.2	Sumur LG #68 Sebelum dan Setelah Stimulasi	28
4.1.2.1	Perhitungan PI Untuk Sumur LG #68	28
4.1.2.2	Data CBL Untuk Sumur LG #68	30
4.1.3	Sumur LG #36 Sebelum dan Setelah Stimulasi	31
4.1.3.1	Perhitungan PI Untuk Sumur LG #36	32
4.1.3.2	Data CBL Untuk Sumur LG #36	34
4.1.4	Sumur LG #87 Sebelum dan Setelah Stimulasi	35
4.1.4.1	Perhitungan PI Untuk Sumur LG #87	36
4.1.4.2	Data CBL Untuk Sumur LG #87	38
4.2	EVALUASI PEKERJAAN STIMULASI <i>GREENZYME</i>	38
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	KESIMPULAN	40
5.2	SARAN	41
	DAFTAR PUSTAKA	42
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Alir Tugas Akhir.....	3
Gambar 2.1	Proses Kerja <i>Greenzyme</i>	7
Gambar 2.2	<i>Huff And Puff</i>	10
Gambar 2.3	Injeksi Stimulasi <i>Greenzyme</i>	12
Gambar 2.4	Kurva IPR Dua Fasa	14
Gambar 2.5	Kurva IPR Satu Fasa	15
Gambar 3.1	<i>Operation Map BOB</i>	17
Gambar 4.1	Skematik Stimulasi <i>Greenzyme</i>	19
Gambar 4.2	<i>Greenzyme</i> Mengubah <i>Wettability</i>	20
Gambar 4.3	Sumur LG #43 Sebelum dan Setelah Stimulasi	22
Gambar 4.4	Kurva IPR LG #43 Sebelum dan Setelah Stimulasi.....	26
Gambar 4.5	Data CBL Sumur LG #43	27
Gambar 4.6	Sumur LG #68 Sebelum dan Setelah Stimulasi	28
Gambar 4.7	Kurva IPR LG #68 Sebelum dan Setelah Stimulasi	29
Gambar 4.8	Data CBL Sumur LG #68.....	30
Gambar 4.9	Sumur LG #36 Sebelum dan Setelah Stimulasi	31
Gambar 4.10	Kurva IPR LG #36 Sebelum Stimulasi	33
Gambar 4.11	Kurva IPR LG #36 Setelah Stimulasi.....	33
Gambar 4.12	Data CBL Sumur LG #36.....	34
Gambar 4.13	Sumur LG #87 Sebelum Stimulasi	35
Gambar 4.14	Kurva IPR LG #87 Sebelum Stimulasi	37
Gambar 4.15	Kurva IPR LG #87 Setelah Stimulasi.....	37
Gambar 4.16	Data CBL Sumur LG #87	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Durasi Perendaman Stimulasi <i>Greenzyme</i>	8
Tabel 2.2	Konsentrasi <i>Greenzyme</i>	9
Tabel 3.1	Karakteristik <i>Reservoir</i> Dan <i>Fluida</i>	18
Tabel 4.1	Kandidat Sumur Stimulasi <i>Greenzyme</i>	20
Tabel 4.2	Aplikasi Stimulasi <i>Greenzyme</i>	21
Tabel 4.3	Test Data Sumur LG #43 Sebelum Dan Setelah Stimulasi.....	22
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Q_0 Dengan PWF Asumsi	26
Tabel 4.5	Test Data Sumur LG #68 Sebelum Dan Setelah Stimulasi.....	29
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Q_0 Dengan PWF Asumsi.....	29
Tabel 4.7	Nilai Produksi Sumur LG #36 Sebelum Dan Setelah Stimulasi.	31
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan PI Sebelum Dan Setelah Stimulasi.....	32
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Q_0 Dengan PWF Asumsi	32
Tabel 4.10	Nilai Produksi Sumur LG #87 Sebelum Dan Setelah Stimulasi.	35
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan PI Sebelum Dan Setelah Stimulasi.....	36
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Q_0 Dengan PWF Asumsi	36
Tabel 4.13	Nilai Q_{max} Dan PI Sebelum Dan Setelah Stimulasi.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	Perhitungan Qo Dengan PWF Asumsi	43
LAMPIRAN II	Data CBL Masing-Masing Sumur	57



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SINGKATAN

Bbl	= Barrel
BFPD	= <i>Barrel Fluid Per Day</i>
BOB	= Badan Operasi Bersama
BOPD	= <i>Barrel Oil Per Day</i>
BSP	= Bumi Siak Pusako
C	= Celcius
DNA	= <i>Deoxyribo Nucleic Acid</i>
EOR	= <i>Enhanced Oil Recovery</i>
Ft	= Feet
IPR	= <i>Inflow Performance Relationship</i>
MEOR	= <i>Microbial Enhanced Oil Recovery</i>
MIRU	= <i>Move In Rig Out</i>
pH	= <i>Power of Hydrogen</i>
POH	= <i>Put Out Hole</i>
PI	= <i>Productivity Index</i>
Ps	= Pressure Static, psi
Psi	= <i>Pound Per Scure Inch</i>
PT	= Persero Terbatas
PWF	= <i>Pressure Well Flow, psi</i>
R/U	= <i>Rig Up</i>
RDMO	= <i>Rig Down Move Out</i>
RIH	= <i>Run In Hole</i>
SFL	= <i>Static Fluid Level</i>
SG	= <i>Specific Gravity</i>
T	= Temperatur
WC	= <i>Water Cut, %</i>
WFL	= <i>Working Fluid Level</i>



DAFTAR SIMBOL

0	= Derjat
\leq	= Kecil dari
$<$	= Kecil
2	= Kuadrat
-	= Kurang
Q_0	= Laju alir oil, bopd
%	= Persen
=	= Sama Dengan



EVALUASI PEKERJAAN STIMULASI *GREENZYME* SEBAGAI UPAYA
PENINGKATAN PRODUKSI SUMUR MINYAK DI LAPANGAN
LENGGOGENI

LENGGO NOVELITA FADHILLAH
143210321

ABSTRAK

Selama sumur diproduksi dapat mengalami penurunan laju produksi. Penurunan ini disebabkan karena sulitnya minyak di produksikan pada kondisi *oil wet*. Penurunan perolehan minyak merupakan permasalahan yang sudah lama menjadi hambatan pada industry minyak dan gas. Untuk menaikkan laju produksi dari sumur-sumur yang mengalami permasalahan tersebut dilakukanlah langkah stimulasi.

Metode yang digunakan pada stimulasi di lapangan Lenggogeni adalah metode *Greenzyme*. *Appolo Greenzyme* adalah produk bioteknologi berupa suatu enzyme biologis cair dengan sifat protein yang larut dalam air. *Biological enzyme* pada dasarnya adalah suatu bentuk katalis tidak hidup dengan bahan dasar protein (*Protein-based non-living catalyst*). Metode ini merupakan *field research* yang dilakukan di BOB PT.BSP Pertamina Hulu. Dimana stimulasi ini dapat mengubah wettability batuan yang semula *oil wet* menjadi *water wet*.

Dalam penelitian kali ini dilakukan pekerjaan stimulasi pada 4 sumur (LG #43, LG #68, LG #36 dan LG #87). Dari ke-4 sumur tersebut dua sumur yakni sumur LG #43 dan sumur LG #68 dinyatakan berhasil. Hal ini dapat dilihat dari nilai Qmax dan PI dari masing-masing sumur. Sebelum dilakukan stimulasi nilai Qmax pada sumur LG #43 adalah sebesar 721,86 Bopd dengan nilai PI sebesar 4,083. Sementara sesudah dilakukan stimulasi nilai Qmax naik menjadi 2288,96 Bopd dan PI sebesar 12,94. Untuk sumur LG #36 dan LG #87 dinyatakan gagal, hal ini dapat dilihat dari penurunan nilai Qmax dan PI dari masing-masing sumur. Sebelum dilakukan stimulasi Nilai Qmax pada sumur LG #36 adalah sebesar 1172,49 Bopd dan PI sebesar 3,62. Sesudah dilakukan stimulasi maka Qmax turun menjadi 120,21 Bopd dan PI sebesar 0,37.

Kata Kunci: Stimulasi, *Greenzyme*, *Damage*.

**EVALUATION OF GREENZYME STIMULATION WORK IN AN EFFORT
TO INCREASE OIL WELL PRODUCTION IN THE LENGGOGENI FIELD**

**LENGGO NOVELITA FADHILLAH
143210321**

ABSTRACT

As long as the well is produced it can experience a decline in the rate of production, this decrease was caused by the difficulty of oil produced under wet oil conditions. The decline in oil acquisition is a problem that has long been a bottleneck in the oil and gas industry. To increase the rate of production from wells, the age that experiences these problems is carried out by stimulation steps.

The method used in stimulation on the Lenggojeni field is the Greenzyme. Appolo Greenzyme method a biotechnology product in the form of a liquid biological enzyme with water soluble protein properties. Biological enzyme is basically a form of catalyst that does not live with protein-based ingredients (Protein-based-non-living catalyst). This method is a field research conducted at BOB PT.BSP Pertamina Hulu. Where this stimulation can change the wettability of rocks that were originally oil wet to wet water.

In this study, the stimulation of the 4 wells of (LG #43, LG #68, LG #36 and LG #87). Of the 4 wells, 2 wells (LG #43 and LG #68) that were successful. This can be see from the Q_{max} and PI. Q_{max} stimulation was carried out, on well LG #43 was 721,86 Bopd with PI score 4,083. While after stimulation the value of Q_{max} to 2288,96 Bopd and PI by 12,94. For LG #36 and LG #87 wells it was stated that this failure can be see from the collection of Q_{max} and PI values from each of the slum cell wells carried out. The as value of LG #36 wells is 1172,49 Bopd and PI is 3,62. After stimulation, the Q_{max} arrangement was 120,21 Bopd and PI was 0,37.

Key Words: *Stimulation, Greenzyme, Damage*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama sumur diproduksi dapat mengalami penurunan laju produksi. Pada sumur-sumur yang sudah tua, produksi minyak akan turun bila tidak ada usaha untuk meningkatkan perolehan minyak. Penurunan perolehan minyak merupakan permasalahan yang serius dan sudah lama menjadi hambatan pada industri minyak dan gas. Penurunan laju produksi minyak dapat disebabkan oleh penurunan cadangan hidrokarbon, penurunan permeabilitas disekitar lubang bor akibat terjadinya damage, dan penurunan tekanan reservoir (Musnal, 2010).

Penurunan permeabilitas selama memproduksi fluida dapat diakibatkan oleh endapan scale, endapan residu (berupa fines atau butiran < 10 microns) dan endapan paraffin. Endapan scale, residu, dan paraffin tersebut dapat diperbaiki dengan melakukan stimulasi. Stimulasi sumur dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu : stimulasi matrik (pengasaman atau *acidizing*) dan stimulasi hidrolik (perekahan atau *fracturing*) (Yolanda, Latumaerissa, Fathaddin, & Wdi, 2015).

Namun disini menggunakan stimulasi *greenzyme* adalah teknologi terbaru perminyakan yang mampu meningkatkan laju produksi dan *recovery* minyak bumi dengan operasi yang relatif sama dengan stimulasi pengasaman. Dimana *greenzyme* juga berfungsi untuk memperlancar aliran dari reservoir ke sumur. Ini dikarenakan *greenzyme* dapat melepaskan minyak dari permukaan pasir secara catalytic dan dapat merubah wettability batuan dimana butir minyak yang semula sulit diproduksi dapat dilepas dari ikatan-ikatan batuan dan ikut terproduksi, sehingga kadar air yang semula tinggi akan berkurang dengan adanya minyak yang terproduksi (Nasiri, Spildo, & Skauge, 2009).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui penurunan dan peningkatan produksi minyak pada sumur-sumur yang dilakukan stimulasi *greenzyme*.
2. Mengevaluasi pekerjaan stimulasi *greenzyme*.

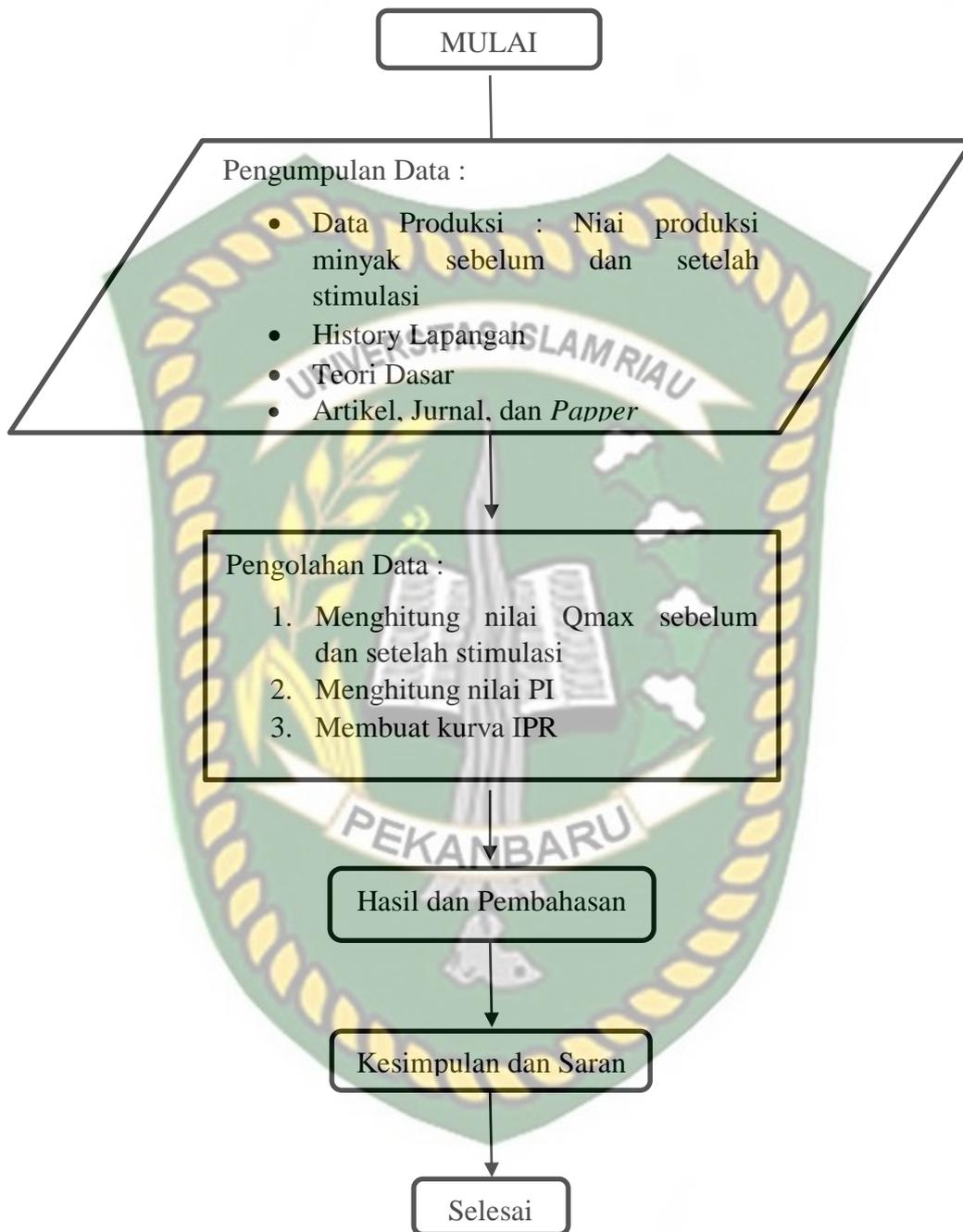
1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka dalam penelitian ini kita memilih kandidat sumur yang cocok untuk stimulasi *greenzyme*, penelitian dilakukan hanya pada kandidat sumur yang terpilih dan mengetahui berapa produksi sebelum dan sesudah dilakukan stimulasi *greenzyme*, serta mengevaluasi pekerjaan stimulasi tersebut.

1.4 Metodologi Penelitian

Adapun metodologi dalam penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Lokasi : BOB PT. BSP Pertamina Hulu
2. Metode penelitian : Field Research
3. Teknik pengumpulan data : Data sekunder, yaitu dengan mengumpulkan data-data sumur produksi minyak, dan data yang berhubungan dengan stimulasi *greenzyme*, buku pegangan pelajaran teknik perminyakan, paper dan diskusi dengan dosen pembimbing.



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Selain untuk beribadah kepada Allah ﷻ, manusia diciptakan sebagai khalifah di bumi. Sebagai khalifah, manusia memiliki tugas untuk memanfaatkan, mengelola, dan memelihara alam semesta. Allah ﷻ telah menciptakan alam semesta untuk kepentingan dan kesejahteraan semua makhluknya, khususnya manusia. Sumber daya alam adalah segala sesuatu yang diciptakan Allah ﷻ di bumi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk kebutuhan hidupnya tercukupi dan sejahtera.

Sumber daya alam terdapat dimana saja seperti di tanah, air, udara, dan sebagainya. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Allah ﷻ dalam firman-Nya pada Q.S Al-An'am(6) : 1-3 tentang siapa yang menciptakan langit dan bumi. Maka sudah sepantasnya kita bersyukur atas apa yang telah Allah ﷻ ciptakan yang semata-mata adalah untuk kita manfaatkan, karena Allah ﷻ telah berjanji barang siapa yang mensyukuri nikmatnya maka akan ditambah tapi apabila kufur maka akan mendapat siksa yang amat pedih. Untuk itu sebagai bentuk syukur manusia kepada Allah ﷻ, manusia harus memelihara alam yang telah memberikan kehidupan kepada manusia karena hakikatnya semua yang ada di bumi hanyalah milik Allah ﷻ. Dalam hal ini, produksi sumur X mengalami masalah pengendapan wax sehingga menurunkan potensi sumur untuk memproduksi dan dapat menyebabkan kerusakan jika tidak ditanggulangi.

2.1 Stimulasi *Greenzyme*

Stimulasi sumur adalah metode kimia atau mekanis yang bertujuan untuk memperbesar daya alir sumur. Operasi stimulasi dilakukan untuk meningkatkan produktivitas dan laju produksi sumur, baik di lapangan minyak maupun lapangan gas. Sumur-sumur yang dapat dijadikan kandidat untuk operasi stimulasi harus mempunyai cadangan hidrokarbon yang cukup banyak. Pada dasarnya operasi stimulasi ditujukan untuk memperbesar laju produksi dan atau meningkatkan cadangan yang dapat diambil (*recovery*) dari suatu reservoir (Anisa & Sudibjo, 2015).

Untuk memproduksi gas atau minyak dari suatu sumur pada laju yang tinggi, reservoir harus cukup banyak fluida dan harus juga tersedia gradient potensial yang cukup untuk memindahkan fluida dari reservoir kedalam sumur. Sering juga dijumpai sumur yang dikompleksikan pada reservoir yang besar, tetapi produktivitas atau laju alirnya kecil. Beberapa penyebab kecilnya laju alir sumur, antara lain :

1. Terjadinya penurunan permeabilitas.
2. Permeabilitas formasi yang rendah. Walaupun jumlah minyak atau gas yang dapat diproduksi masih banyak, permeabilitas formasi yang sangat rendah akan menyebabkan minyak atau gas tidak dapat diproduksi pada laju alir yang ekonomis.
3. Tekanan reservoir sangat rendah dan menurun sehingga tidak dapat mengalirkan minyak atau gas secara memadai.

2.1.1 Appolo Greenzyme

Bioteknologi merupakan perpaduan dari ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa yang bertujuan meningkatkan aplikasi organisme hidup sel, bagian dari organisme hidup, serta analog molekuler untuk menghasilkan produk dan jasa (He & Zhonghong, 2011).

Appolo Greenzyme adalah produk bioteknologi berupa suatu enzyme biologis cair dengan sifat protein yang larut dalam air. Biological enzyme pada dasarnya adalah suatu bentuk katalis tidak hidup dengan bahan dasar protein (*Protein-based non-living catalyst*) yang terbuat dari DNA mikroba pemakan minyak yang mempunyai kemampuan melepas komponen hidrokarbon dari permukaan padat (Jabbar, et al., 2015).

Enzim-enzim ini juga memecah berbagai ikatan di lingkungan minyak untuk melepaskan dan memobilisasi minyak. Solusi teknologi EOR didasarkan pada enzim cair dengan sifat unik yang larut di air untuk berinteraksi secara katalitis dengan hidrokarbon. Fungsi enzimatis pada produksi berdasarkan fakta adalah untuk mencari dan melepaskan minyak. Setelah melepaskan hidrokarbon enzim akan melekat pada permukaan padat dan larut pada fasa air dalam reservoir.

Demikian enzim dapat berinteraksi dengan hidrokarbon baru dan menyebabkan pelepasan minyak (Khusainova, Nielsen, Pedersen, Woodley, & Shapiro, 2015).

Apollo Greenzyme ditemukan pada awal tahun 1990-an oleh Phillip Lau, PE. Mantan ahli kimia penting di Dow Chemical Company. Sejak 1999 teknologi ini mulai digunakan untuk meningkatkan perolehan minyak bumi diberbagai jenis sumur minyak (sumur deplesi, sumur off shore, kompleks sumur baru, dan lainnya) (AST, 2018).

Sifat fisik *Apollo Greenzyme* yaitu ramah lingkungan, tidak beracun, Ph mendekati netral (5-7), tidak menguap, titik didih di atas 270⁰C, dan warnanya kekuning-kuningan (Cobianco, Albonico, Battistel, Bianchi, & Fornaroli, 2007). *Apollo Greenzyme* ini tidak terpengaruh oleh pH dan salinitas fluida formasi, temperatur reservoir dan dia larut dalam air tidak larut dalam minyak sehingga memudahkan minyak untuk di produksi.

Enzim yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keunggulan berikut (Wang, Kantzas, Li, & Zhao, 2008)

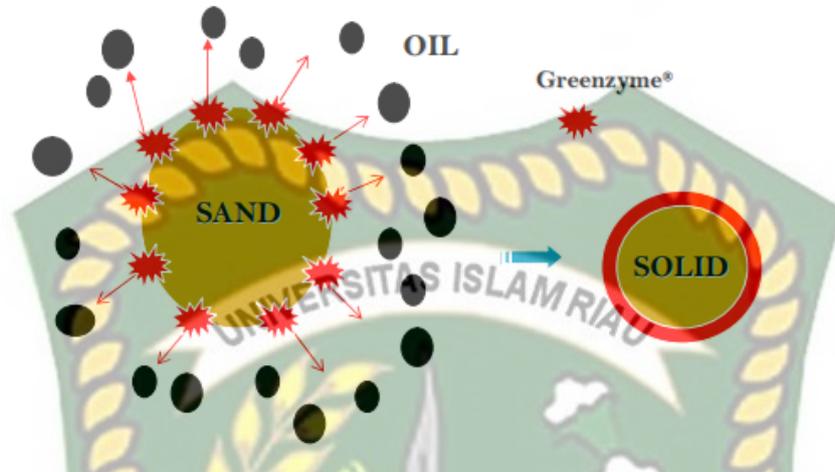
1. Terbuat dari DNA mikroba
2. Mengubah wettability batuan, dimana minyak terperangkap di antara kelompok batuan yang susah di produksi, bisa jadi diproduksi
3. Tidak dipengaruhi oleh salinitas dan pH cairan formasi, atau dipengaruhi oleh suhu dan tekanan reservoir
4. Ramah lingkungan, pH 5-7, larut dalam alir, tidak larut dalam minyak.

2.2 Aplikasi Greenzyme

Greenzyme tidak sama cara bekerjanya dengan demulsifier ataupun surfactant. Secara teoritis *greenzyme* merubah wettability batuan dimana butir minyak yang semula sulit diproduksi dapat dilepas dari ikatan-ikatan batuan dan ikut terproduksi. Sehingga kadar air yang semula tinggi akan berkurang dengan adanya minyak yang terproduksi (Nasiri, Spildo, & Skauge, 2009).

Secara umum kegunaan utama dari stimulasi *greenzyme* ini adalah meningkatkan minyak dan laju produksi. Stimulasi ini mampu mendekati harga produksi awal dari

sumur minyak tersebut (NIXUS International Corporation, 2014). Proses kerja *greenzyme* tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.1 Proses Kerja *Greenzyme* (BTP, 2008)

Adanya air selain minyak tidak akan mengganggu beroperasinya *greenzyme* karena ia terlarut di air juga, hingga diinjeksikan ke lapisan produksi (pay zone) bisa membuka banyak pore di reservoir dengan menyebar. *Greenzyme* ini tidak cocok untuk sumur mati atau kalau produksi awalnya memang kecil. *Greenzyme* efektif pada temperatur besar (35-200⁰C).

Reaksi dari pekerjaan enzyme :



2.3 Kriteria Stimulasi *Greenzyme*

Kriteria utama pemilihan kandidat sumur yang akan dilakukan stimulasi menggunakan material *greenzyme* adalah :

2.3.1 Jenis Sumur

Menurut (William, Nyo, Aung, & Khaing, 2011)

- Sumur vertikal dan horizontal.
- Aplikasi pendorong *single well*.
- Aplikasi *flooding multiple wells*.
- Formasi sandstone : *Greenzyme only*.
- Formasi Limestone : *Greenzyme + acid*.

2.3.2 Porositas

- a. Porositas dari formasi lapisan minyak harus lebih besar dari 20%. Dan jika porositas lebih kecil dari 10% masih bisa dilakukan stimulasi tetapi pekerjaan tersebut tidak terlalu signifikan untuk memproduksi minyak.
- b. Semakin tinggi harga porositas biasanya memberikan hasil yang lebih baik.

2.3.3 Well Status

1. Sumur minyak yang mengalami penurunan produksi drastis > 100 BOPD.
2. Produksi saat ini > 15 BOPD.
3. Sumur yang sekarang mengalami water cut sangat tinggi.

2.3.4 Densitas dan Soaking Time

Dibutuhkan densitas (*specific gravity*) ≤ 0.90 untuk dilakukan durasi perendaman sumur (*capping time*) standar. Semakin tinggi densitas akan membutuhkan durasi perendaman yang lebih lama pula. Contoh : sebuah sumur dengan densitas 0.98, biasanya membutuhkan 5 – 7 hari durasi perendaman. Tabel 2.1 menunjukkan durasi perendaman stimulasi *greenzyme* yang dipengaruhi oleh *specific gravity* dan porositas.

Tabel 2.1 Durasi Perendaman Stimulasi Greenzyme (Hermawandi, 2006)

Kriteria	Durasi Perendaman
Densitas < 0.85 ; porositas > 20% Oil T° acceptable, wax sedikit	3 hari
Densitas > 0.85 ; porositas > 20% Oil T° acceptable, wax sedikit	4 – 5 hari
Densitas > 0.95 ; porositas > 10% Oil T° acceptable, wax sedikit	5 – 7 hari
Densitas > 1.0 ; porositas > 10% Oil T° acceptable, wax sedikit	7 – 8 hari
Tidak memenuhi kriteria diatas, kondisi jelek, problem wax berat	9 – 10 hari

2.4 Konsentrasi Greenzyme

Agar mendapatkan hasil stimulasi yang efektif maka jumlah atau konsentrasi *greenzyme* yang akan diinjeksikan ke sumur hendaklah ditentukan. Dari hasil uji laboratorium dan implementasi di lapangan didapatlah jumlah enzim yang harus

diinjeksikan ke sumur untuk distimulasikan. Adapun jumlah *greenzyme* yang harus diinjeksikan dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Konsentrasi *Greenzyme* (Hermawandi, 2006)

KETEBALAN FORMASI (Tf) (Meter)	KUANTITAS GREENZYME (Kondisi Normal)	KUANTITAS GREENZYME (Kondisi Khusus)
Tf < 5	4 Drums	5 Drums
5 < Tf < 10	6 Drums	8 Drums
10 < Tf < 15	8 Drums	11 Drums
15 < Tf < 20	10 Drums	14 Drums
20 < Tf < 25	12 Drums	17 Drums
25 < Tf < 30	14 Drums	20 Drums

Note : 1 Drum sebanding dengan 208 Liter = 55 Gallons = 1,3095 bbl

Dimana 1 Drum diaduk dengan air menjadi larutan 3%. *Greenzyme* adalah sebagai *Pre-Flushed* dan untuk *After Flushed* sesuai kebutuhan, sedangkan sisanya diaduk menjadi larutan 10% *greenzyme* yang digunakan sebagai Larutan Treatment.

Proses injeksi *greenzyme* yang dilakukan dengan menggunakan metode *huff and puff*. Metode ini dilakukan secara bergantian untuk injeksi *greenzyme* dan produksi minyak pada satu sumur yang sama. Definisi *huff and puff* suatu proses penginjeksian larutan kedalam suatu sumur, kemudian dидiamkan (*soaking*) beberapa waktu setelah itu di produksi kembali. Jadi *huff and puff* itu menginjeksikan bahan kimia ke dalam suatu sumur serta memproduksi pada satu sumur yang sama (Makky & Kasmungin, 2015).



Gambar 2.2 *huff and puff* (Zukfika, 2012).

Proses penginjeksian *greenzyme* ke dalam formasi dilakukan dengan tahap-tahap kegiatan seperti *preflush*, *spotting* dan *after flush/overflush*.

- *Preflush*
Preflush dilakukan dengan memompakan *diesel* atau fluida *treatment* lain yang konsentrasinya rendah dan jumlahnya kira-kira setengah atau seperempat dari volume untuk *treatment* sebenarnya. *Preflush* ini sebagai pembilas untuk menghilangkan material yang mungkin dapat bereaksi pada fluida *treatment* utamanya, sehingga pada saat *spotting*, fluida *treatment* dapat bereaksi dengan formasi sesuai yang direncanakan.
- *Spotting*
Spotting merupakan proses utama pemompaan *greenzyme* ke dalam formasi untuk melarutkan hidrokarbon. Pemompaan dengan laju yang rendah dilakukan untuk memperbaiki kerusakan di sekitar lubang sumur, sedangkan laju yang tinggi dilakukan untuk jangkauan yang lebih jauh ke dalam formasi.
- *After flush (over flush)*
After flush atau *displacement* merupakan proses pendorongan *greenzyme* yang masih ada dalam tubing agar seluruh *greenzyme* masuk ke dalam formasi dan mengurangi waktu kontak *greenzyme* dengan tubing.

2.5 Proses Stimulasi *Greenzyme*

2.5.1 Treatment

Dalam pelaksanaan dilapangan, peralatan utama yang dibutuhkan adalah unit mobile mixing tank untuk membuat larutan *greenzyme*. Dan unit oil field service truck yang dilengkapi :

1. *High pressure piston pump* , atau
2. *High pressure plunger pump*, atau
3. *High pressure triplex*

Dan mampu menghasilkan tekanan injeksi hingga 5000 psi, dengan kapasitas minimum 40 bbl.

Proses pembuatan/pencampuran larutan yang akan diinjeksikan dilakukan di lapangan (*on site*).

Dan juga dibutuhkan *rig work over*, dan *packer*.

Well Treatment Procedure :

1. MIRU Rig, pasang dan uji BOPE.
2. POH.
3. RIH *packer* dan *casing scrapper*.
4. R/U stimulasi unit.
5. Buat larutan stimulasi *greenzyme* sesuai program.
6. RIH *open ended packer*.
7. Test *packer* pada black casing. Lakukan injectivity test. Monitor tekanan casing, jika meningkat hentikan injeksi (indikasi kebocoran), set kembali OE *packer*. Jika tidak lanjutkan.
8. Injeksikan $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ unit of diesel atau 3% *greenzyme extract*.
9. Pompakan *Appollo Greenzyme* 10% ke interval yang dituju dengan jumlah volume yang telah ditetapkan oleh program.
10. Lanjutkan dengan injeksi unit *fresh water*. *Shut in/ soak well* selama 10 hari.
11. POH *open ended packer*.
12. RIH pompa.
13. RDMO.



Gambar 2.3 Injeksi Stimulasi *Greenzyme*

2.6 Produktivitas Sumur

Produktivitas formasi adalah kemampuan suatu formasi untuk memproduksi fluida yang dikandungnya pada kondisi tekanan tertentu (Kusniawati & Febriansyah, 2016). Pada umumnya sumur-sumur baru ditemukan mempunyai tenaga pendorong alamiah yang mampu mengalirkan fluida hidrokarbon dari reservoir ke permukaan dengan tenaganya sendiri, dengan berjalannya waktu produksi, kemampuan dari formasi untuk mengalirkan fluida tersebut akan mengalami penurunan.

2.6.1 Produktivity Index (PI)

Index Produktivitas (PI) merupakan index yang digunakan untuk menyatakan kemampuan suatu formasi untuk berproduksi pada suatu beda tekanan tertentu atau merupakan perbandingan antara laju produksi yang dihasilkan formasi produktif pada drawdown yang merupakan beda tekanan dasar sumur saat kondisi statis (P_s) dan saat terjadi aliran (P_{wf}) (Ir. Joko Pamungkas, 2004). PI dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$PI = J = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \text{ STB/Day/Psi} \quad (1)$$

Dimana :

PI = Productivity Index (BOPD/Psi)

Q = Laju Alir Fluida (Bbl)

Pwf = Pressure Well Flow (Psi)

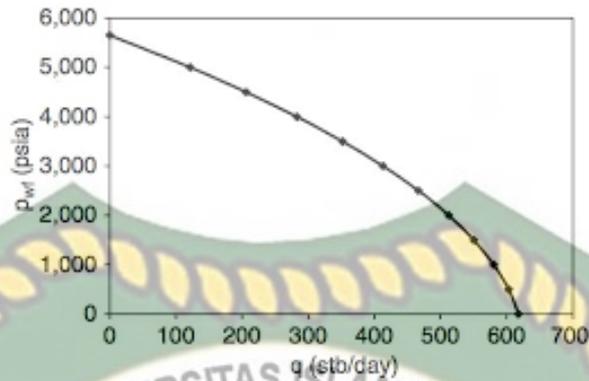
Ps = Pressure Static (Psi)

2.6.2 Inflow Performance Relationship (IPR)

Kurva *Inflow Performance Relationship* (IPR) merupakan grafik yang menggambarkan kemampuan suatu sumur untuk berproduksi yang dinyatakan dalam bentuk hubungan antara laju produksi (q) terhadap tekanan alir dasar sumur (P_{wf}). Dalam persiapan pembuatan IPR terlebih dahulu harus diketahui *Productivity Index* (PI) sumur tersebut, yang merupakan gambaran secara kualitatif mengenai kemampuan suatu sumur untuk berproduksi. (Ariadji & Regina, 2001)

Dalam memproduksi suatu sumur, baik itu sumur minyak ataupun gas, sangat diperlukan adanya informasi mengenai kelakuan dari reservoirnya. Kelakuan reservoir biasanya ditunjukkan dengan adanya aliran (inflow) dari reservoir itu sendiri yang disebabkan adanya tekanan reservoir (P_r). Aliran dari reservoir kedalam lubang sumur tergantung dari *drawdown* atau *pressure drop* dalam reservoir, $P_r - P_{wf}$, dimana P_{wf} adalah tekanan alir didasar sumur (*bottom hole flowing pressure*) (Hermadi, 2009).

Aliran dari reservoir ke lubang sumur tersebut dinamakan inflow performance dan kurva yang dihasilkan antara laju produksi dengan tekanan alir dasar sumur disebut inflow performance relationship, atau lebih dikenal dengan istilah kurva IPR. Jadi kurva IPR merupakan kurva yang menunjukkan kelakuan produksi suatu sumur (Hermadi, 2009).



Gambar 2.4 Kurva IPR 2 Fasa (Raharjo, 2016)

2.6.2.1 IPR Dua Fasa

Untuk membuat kurva IPR dimana fluida yang mengalir dua fasa, Vogel mengembangkan persamaan hasil regresi yang sederhana dan mudah pemakaiannya (Kermit E. Brown, 1984:13), yaitu:

$$\frac{q}{q_{max}} = 1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right)^2 \quad (2)$$

Selain itu dalam pengembangannya dilakukan anggapan:

- Reservoir bertenaga dorong gas terlarut
- Harga *skin* disekitar lubang bor sama dengan nol
- Tekanan *reservoir* di bawah tekanan saturasi (P_b)

Perhitungan Q untuk berbagai P_{wf}

- $P_{wf} > P_b$

$$Q = PI \times (Pr - P_{wf}) \quad (3)$$

- $P_{wf} = P_b$

$$Q = PI \times (Pr - P_b) \quad (4)$$

- $P_{wf} < P_b$

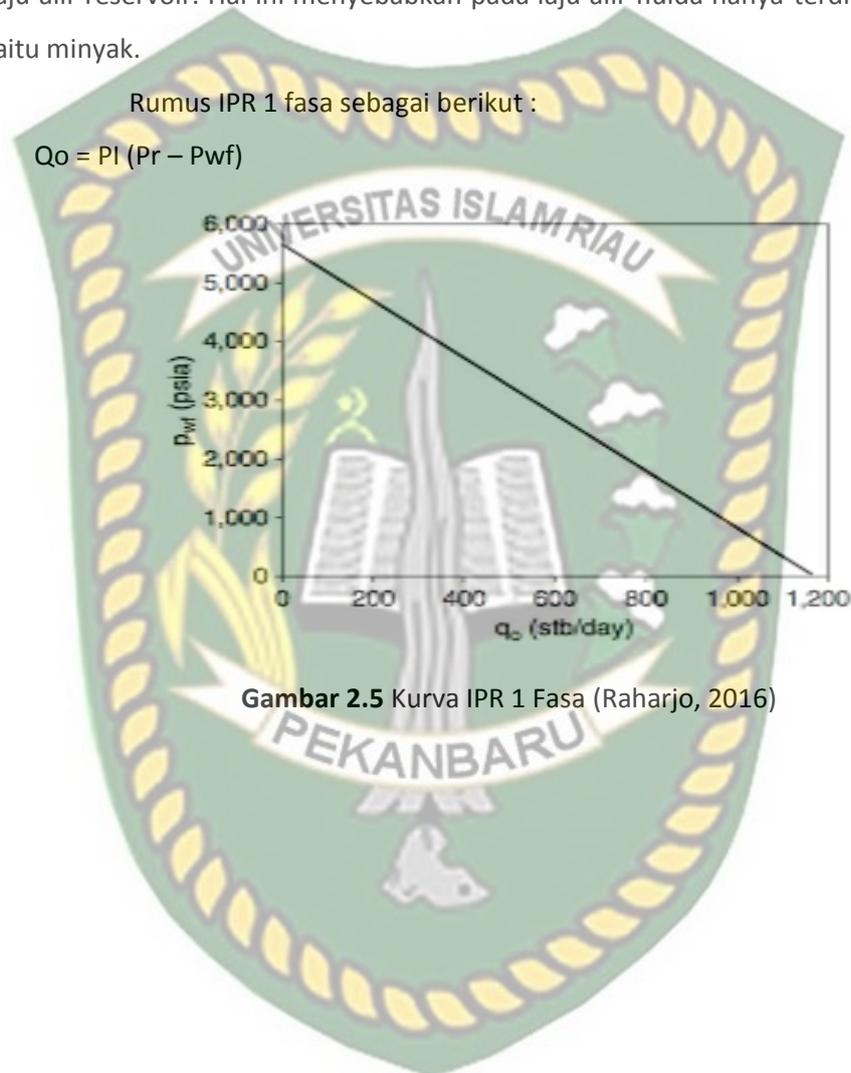
$$Q = Q_b + (Q_{max} - Q_b) \left[1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right] \quad (5)$$

2.6.2.2 IPR Satu Fasa

IPR satu fasa ketika P_{wf} berada diatas *bubble point pressure* (P_b). Pada kondisi ini gas masih terlarut didalam minyak maka belum ada free gasyang terbentuk pada laju alir reservoir. Hal ini menyebabkan pada laju alir fluida hanya terdiri satu fasa saja, yaitu minyak.

Rumus IPR 1 fasa sebagai berikut :

$$Q_o = PI (P_r - P_{wf}) \quad (6)$$



Gambar 2.5 Kurva IPR 1 Fasa (Raharjo, 2016)

BAB III

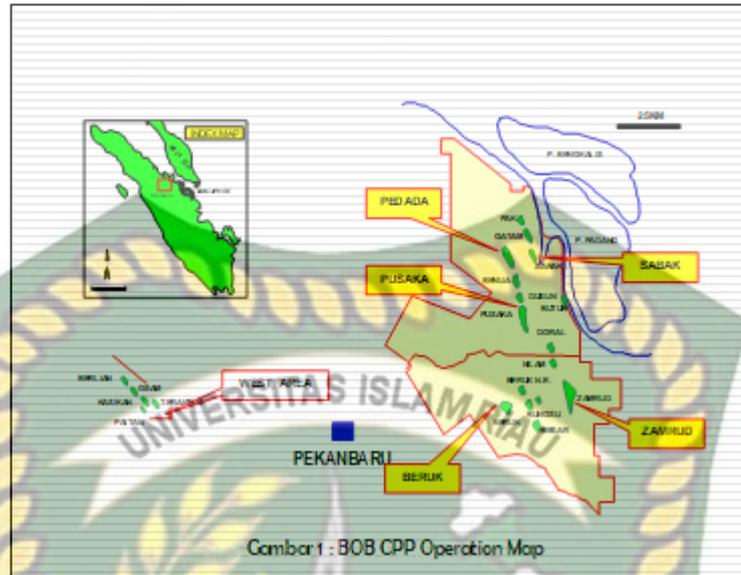
GAMBARAN LAPANGAN

Badan Operasi Bersama PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu terletak di Kabupaten Siak, Riau. Terdapat 26 lapangan produksi dan terbagi dalam 3 (tiga) area, yaitu Zamrud Area, Pedada Area, dan *West Area* di wilayah kerjanya.

3.1 Letak Geografis BOB (PT. BSP-Pertamina Hulu)

Badan Operasi Bersama PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu merupakan peninggalan sekaligus warisan dari PT. Caltex Pacific Indonesia, yang sejarahnya dimulai pada tahun 1972 di Kasikan. Setelah itu mulailah ditemukan lagi sumur-sumur baru seperti sumur di Pedada yang ditemukan pada tahun 1973, berlanjut dengan ditemukannya sumur di Zamrud area pada tahun 1975, dan berlanjut ke sumur – sumur lainnya di berbagai lapangan. Badan Operasi Bersama (BOB) PT. Bumi Siak Pusako (BSP)-Pertamina Hulu terbentuk dari tumbuhnya kesadaran untuk memberikan porsi yang seimbang bagi pemerintah daerah untuk menikmati dan mengelola hasil sumber daya alam daerahnya. Kewenangan pengelolaan ini diserahkan kepada PT. Bumi Siak Pusako (BSP) dan PT. Pertamina Hulu dari pemerintah Republik Indonesia melalui BPMIGAS.

Secara geografis lapangan ini terletak di bagian Timur Cekungan Sumatera Tengah yang merupakan salah satu cekungan tersier di Pulau Sumatera. Kerangka tektonik Sumatera merupakan busur magmatik yang berhubungan dengan Lempeng Indo - Australia terhadap Lempeng Eurasia pada arah N 6°. Wilayah kerja BOB PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu dengan luas sebesar 9.135,06 km² terletak di propinsi Riau yang tercakup dalam Kabupaten Siak, Bengkalis, Kampar Rokan Hulu. Lokasi-lokasi area produksi BOB PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu digambarkan dalam gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Operation Map BOB (Sumber: BOB PT. BSP – Pertamina Hulu Siak)

3.2 Stratigrafi Cekungan Sumatra

Menurut Mertosono dan Nayoan, 1974 (dalam Heidrick and Aulia, 1993) unit Stratigrafi Tersier regional Cekungan Sumatra Tengah dibagi menjadi lima unit, yang berumur dari Kala Paleogen sampai Kuartar. Kelima kelompok tersebut yaitu Formasi Pematang, Kelompok Sihapas, Formasi Telisa, Formasi Petani dan terakhir Formasi Minas. Untuk lapangan Alastor, terdiri dari Kelompok Sihapas yaitu Formasi Bekasap dan Formasi Bangko.

1. Formasi Bekasap

Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Bangko pada lingkungan *estuarine intertidal*, *inner-neritic* sampai *middle/outer neritic* (Dawson, et.al, 1997) dan mempunyai kisaran umur dari akhir N5 sampai N8. Litologi penyusunnya adalah batu pasir *glaukonitan* di bagian atas serta sisipan serpih, batu gamping tipis dan lapisan batu bara. Ketebalan formasi ini sekitar 1300 ft.

2. Formasi Bangko

Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Menggala dan berumur N5 atau *Miosen* Awal. Lingkungan pengendapan Formasi ini adalah *open marine shelf* dipengaruhi oleh *intertidal* dan laut. Litologinya berupa serpih abu-abu bersifat gampingan, berselingan dengan Batupasir halus sampai sedang. Ketebalan formasi ini mencapai 300 ft.

3.3 Karakteristik *Reservoir* dan *Fluida*

Adapun karakteristik dari *reservoir* dan *fluida* pada lapangan Lenggogeni dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik *Reservoir* dan *Fluida*

Reservoir and Fluid Data		
RESERVOIR DRIVE		WATER
POROSITY, AVG	- %	27
SATURATION, WATER AVG	- %	25
FVF, OIL	- RB/STB	1.0689
CONTACT ANGLE, OIL	- °	117,77
PRESSURE, ORIG RES	- PSIG	283
PRESSURE CURRENT AVG	- PSIG	272
DATUM DEPTH	- FT SS	625
PRESSURE, OIL SAT	- PSIG	181
GOR, DISSOLVED GAS	- SCF/STB	30.0
VISCOSITY, OIL RES	- CP	6.7
VISCOSITY, WATER RES	- CP	0.3700
TEMPERATURE, RES	- DEG, F	172
POUR POINT, OIL	- DEG, F	20

BAB IV

PEMBAHASAN

Pada pekerjaan stimulasi *greenzyme* ini penulis menggunakan metode vogel yang digunakan untuk aliran 2 fasa pada kurva IPR. Penggunaan metode vogel ini dilihat dari beberapa parameter yaitu $skin = 0$, mempunyai nilai $P_{wf} > P_b$, $P_{wf} = P_b$ dan $P_{wf} < P_b$, dimana juga pada penelitian ke-4 sumur ini rata-rata sumurnya sudah tua sehingga water cut nya mencapai 85%.



Gambar 4.1 Skematik Stimulasi Greenzyme (NIXUS International Corporation, 2014)

Pertama kondisi minyak melekat pada permukaan batuan padat atau batuan pasir yang menghasilkan resistensi aliran tinggi yang menghambat produksi, pada kondisi selanjutnya sebelum di injeksi ke dalam sumur, *greenzyme* diubah menjadi larutan 10% yang dicampur dengan air. Kemudian setelah diinjeksikan larutan *greenzyme* berinteraksi dengan batuan pasir meningkatkan *wettability* batuan terhadap air sehingga mengurangi *wettability* batuan terhadap minyak sehingga minyak terlepas dari batuan dan siap untuk di produksi.



Gambar 4.2 *Greenzyme* Mengubah *Wettability* Batuan (NIXUS International Corporation, 2014)

Gambar di atas menjelaskan bahwa minyak melekat pada permukaan berpori. Kemudian *greenzyme* diinjeksikan pada minyak yang membasahi batuan tersebut dimana *wettability* nya tinggi sehingga minyak sulit terlepas dari batuan sehingga sulit diproduksi. Penginjeksian ini dilakukan agar minyak tersebut terlepas dari batuan sehingga minyak dapat diproduksi. Ketika minyak tersebut diproduksi *greenzyme* akan menggantikan posisi minyak tersebut didala, pori batuan tadi.

Pemilihan sumur kandidat untuk stimulasi ini juga harus memperhatikan nilai porositas dari formasi minyak harus lebih besar dari 20%. Berikut data kandidat sumur yang akan dilakukan stimulasi pada table dibawah ini :

Tabel 4.1 Kandidat Sumur Stimulasi *Greenzyme*

Sumur Minyak	Test Produksi Terakhir		
	BFPD	BOPD	WC %
LG #43	156	55	65
LG #68	576	57,6	90
LG #36	864	86,4	90
LG #87	510	25,5	95

Tabel 4.2 Aplikasi Stimulasi *Greenzyme*

Sumur	SG	Phor (%)	Interval (feet)	Kuantitas <i>Greenzyme</i>	ST (teori)	ST (aplikasi)
LG #43	0,84	25	506 – 567	6 drum	3 hari	10 hari
LG #68	0,87	25	667 – 678	6 drum	4 – 5 hari	10 hari
LG #36	0,88	25	730 – 740	6 drum	4 – 5 hari	10 hari
LG #87	0,88	25	642 – 646	6 drum	4 – 5 hari	10 hari

4.1 Analisa Sumur-Sumur Produksi

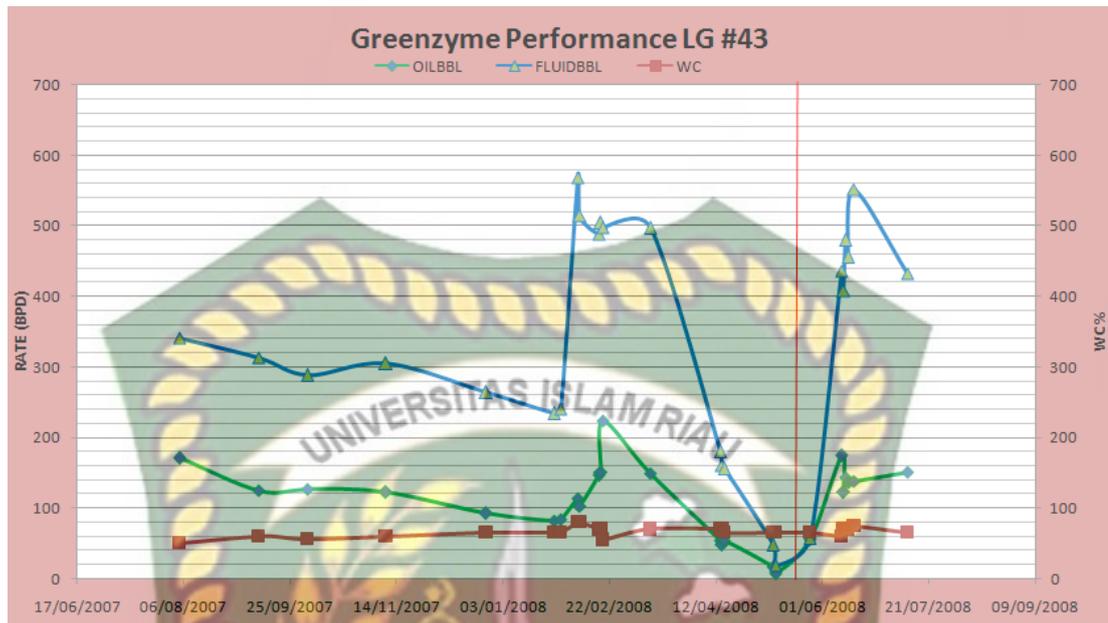
4.1.1 Sumur Produksi LG #43 Sebelum dan Sesudah Stimulasi

Pada proyek stimulasi *greenzyme* sumur LG #43 dilakukan berdasarkan dari analisa data produksi sumur yang mengalami penurunan produksi secara tiba-tiba. Sumur LG #43 efektif diproduksi dari lapisan 350' sampai 550' sd. Berdasarkan dari data produksi terakhir yang di peroleh sebelum stimulasi *greenzyme* dari sumur LG #43 pada 26 Mei 2008 memiliki produksi sebesar 156 BFPD, 55 BOPD, dan water cut 65%.

Walaupun water cut pada sumur LG #43 tidak terlalu tinggi, tetapi produksi pada sumur ini sangat rendah. Produksi awal setelah stimulasi ini adalah 436 BFPD, 174,4 BOPD, dan water cut 60%.

Dilihat dari hasil produksi setelah stimulasi sumur LG #43 mengalami peningkatan dari 156 BFPD menjadi 436 BFPD. 55 BOPD menjadi 174,4 BOPD, dan water cut mengalami penurunan dari 65% menjadi 60%. Jadi pada sumur LG #43 bisa dikatakan sukses untuk stimulasi *greenzyme* ini .

Berikut gambar sumur LG #43 sebelum dan sesudah stimulasi *greenzyme* dilakukan, dilihat pada gambar 4.2 .



Gambar 4.3 Sumur LG#43 Sebelum dan Sesudah Stimulasi *Greenzyme*

4.1.1.1 Perhitungan PI untuk Sumur LG #43

Tabel 4.3 Test Data Sumur LG #43 Sebelum dan Setelah Stimulasi *Greenzyme* :

	Top Perfo	Bottom Perfo	SFL	WFL	WC (%)	Qo (Bopd)	API
Sebelum	506	567	308	341	65	55	36
Setelah					60	174,4	

Dengan menggunakan perhitungan berikut, maka di dapatkan harga Pwf dan Ps. Kemudian hasil perhitungan tersebut digunakan untuk membuat kurva IPR.

Penentuan Ps

- Mid Perfo = top perfo + bottom perfo
 = 506 + 567
 = 1073

- SG Oil = $\frac{141,5}{131,5+API}$
 = $\frac{141,5}{131,5+36}$
 = 0,84

- $SG\ Mix = (WC \times SG\ Water) + (1 - WC) \times SG\ Oil$
 $= (0,65 \times 1) + (1 - 0,65) \times 0,84$
 $= 0,944$
- $GF = SG\ mix \times 0,433$
 $= 0,944 \times 0,433$
 $= 0,408$
- $Pr = (mid\ perfo - SFL) \times GF$
 $= (1073 - 308) \times 0,408$
 $= 312,12$
- $Pwf = (mid\ perfo - WFL) \times GF$
 $= (1073 - 341) \times 0,408$
 $= 298,65$

Perhitungan PI dan Qb sebelum asumsi

$$PI = \frac{q}{(Pr - Pwf)}$$

$$= \frac{55}{(312,12 - 298,65)}$$

$$= 4,083$$

$$Qb = PI \times (Pr - Pb)$$

$$= 4,083 \times (312,12 - 119,7)$$

$$= 785,65$$

Perhitungan Pwf asumsi dan Qo sebelum stimulasi

$$Q_{max} = Qb + \frac{PI \times Pb}{1,8}$$

$$= 785,65 + \frac{4,083 \times 119,7}{1,8}$$

$$= 1057,16\ bpd$$

- $Pwf = 312,12, Pr = 312,12$
 $Qo = PI \times (Pr - Pwf)$
 $= 4,083 \times (312,12 - 312,12)$
 $= 0\ Bopd$
- $Pwf = 300, Pr = 312,12$
 $Qo = PI \times (Pr - Pwf)$

$$= 4,083 \times (312,12 - 300)$$

$$= 49,48 \text{ Bopd}$$

- $P_{wf} = 250$, $P_r = 312,12$

$$Q_o = 4,083 \times (312,12 - 250)$$

$$= 253,63 \text{ Bopd}$$

- $P_{wf} = 200$, $P_r = 312,12$

$$Q_o = 4,083 \times (312,12 - 200)$$

$$= 457,78 \text{ Bopd}$$

- $P_{wf} = 150$, $P_r = 312,12$

$$Q_o = 4,083 \times (312,12 - 150)$$

$$= 661,94 \text{ Bopd}$$

- $P_{wf} = 119,7$, $P_r = 312,12$

$$Q_o = P_I \times (P_r - P_b)$$

$$= 4,083 \times (312,12 - 119,7)$$

$$= 785,65 \text{ Bopd}$$

- $P_{wf} = 50$, $P_r = 312,12$

$$Q_o = Q_b + (Q_{max} - Q_b) \left[1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right]$$

$$= 785,65 + (1057,16 - 785,65) \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{50}{119,7} \right) - 0,8 \times \left(\frac{50}{119,7} \right)^2 \right)$$

$$= 996,57 \text{ Bopd}$$

Perhitungan P_I dan Q_b setelah asumsi

$$P_I = \frac{q}{(P_r - P_{wf})}$$

$$= \frac{174,4}{(312,12 - 298,65)}$$

$$= 12,94$$

$$Q_b = P_I \times (P_r - P_b)$$

$$= 12,94 \times (312,12 - 119,7)$$

$$= 2489,91$$

Perhitungan Qo dengan Pwf asumsi setelah stimulasi

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= Qb + \frac{PI \times Pb}{1,8} \\ &= 2489,91 + \frac{12,94 \times 119,7}{1,8} \\ &= 3350,42 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

- Pwf = 312,12 , Pr = 312,12

$$\begin{aligned} Q_o &= 12,94 \times (312,12 - 312,12) \\ &= 0 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

- Pwf = 300 , Pr = 312,12

$$\begin{aligned} Q_o &= 12,94 \times (312,12 - 300) \\ &= 156,83 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

- Pwf = 250 , Pr = 312,12

$$\begin{aligned} Q_o &= 12,94 \times (312,12 - 250) \\ &= 803,83 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

- Pwf = 200 , Pr = 312,12

$$\begin{aligned} Q_o &= 12,94 \times (312,12 - 200) \\ &= 1450,83 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

- Pwf = 150 , Pr = 312,12

$$\begin{aligned} Q_o &= 12,94 \times (312,12 - 150) \\ &= 2097,83 \end{aligned}$$

- Pwf = 119,7 , Pr = 312,12

$$\begin{aligned} Q_o &= PI \times (Pr - Pb) \\ &= 12,94 \times (312,12 - 119,7) \\ &= 2489,91 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

- Pwf = 50 , Pr = 312,12

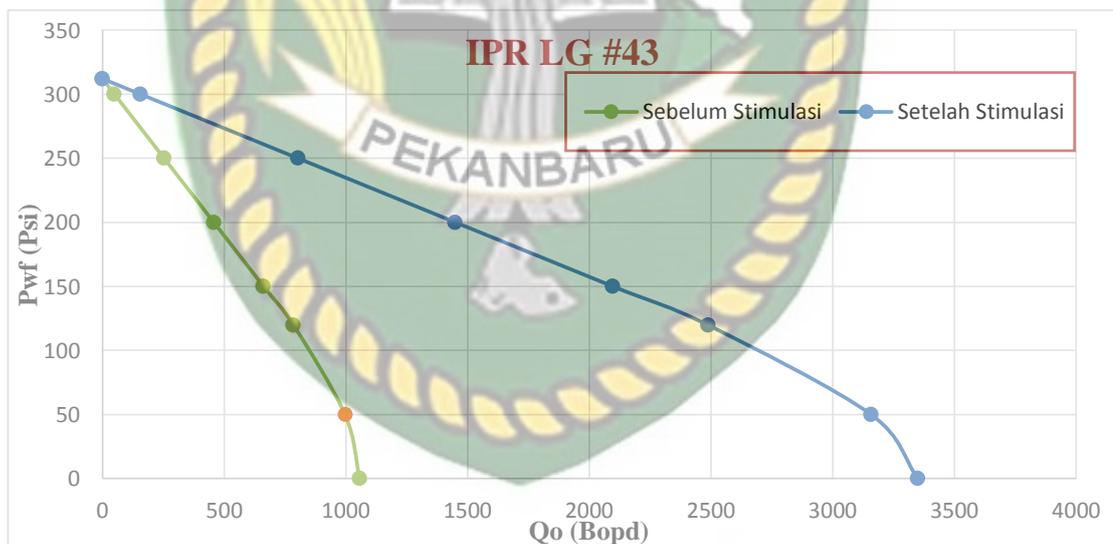
$$\begin{aligned} Q_o &= Qb + (Q_{\max} - Qb) \left[1 - 0,2 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \times \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right] \\ &= 2489,91 + (3350,42 - 2489,91) \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{50}{119,7} \right) - 0,8 \times \left(\frac{50}{119,7} \right)^2 \right) \\ &= 3158,41 \text{ Bopd} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Perhitungan Qo dengan Pwf Asumsi Sebelum dan Setelah Stimulasi
LG #43

Sebelum		Setelah	
Pwf (Psi)	Qo (Bopd)	Pwf (Psi)	Qo (Bopd)
312,12	0	312,12	0
300	49,48	300	156,83
250	235,63	250	803,83
200	457,78	200	1450,83
150	661,94	150	2097,83
119,7	785,65	119,7	2489,91
50	996,57	50	3158,41
0	1057,16	0	3350,42

Dari perhitungan diatas dapat dibuat kurva IPR sebelum dan setelah stimulasi

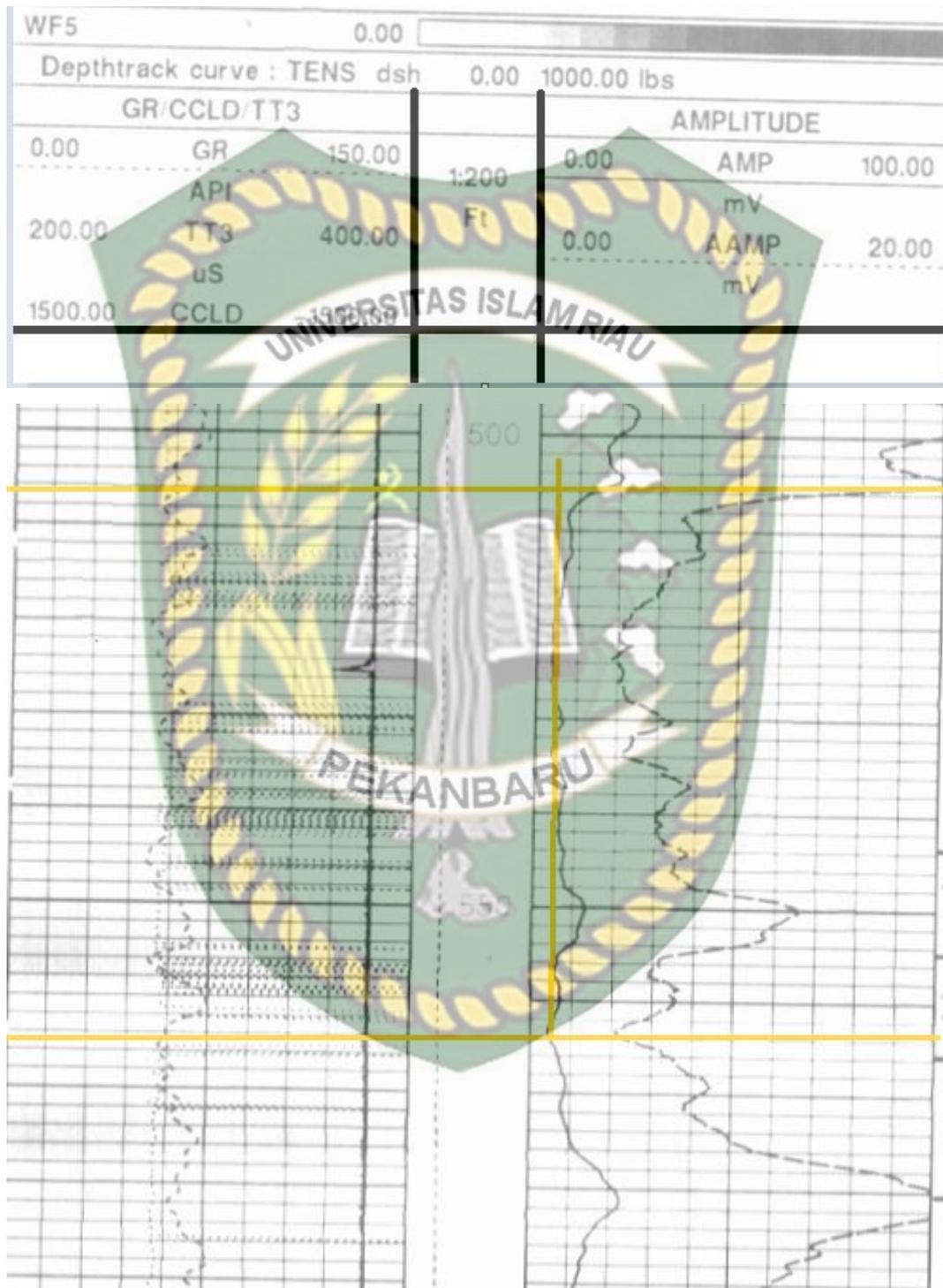
greenzyme :



Gambar 4.4 IPR sumur LG #43 Sebelum dan Sesudah Stimulasi *Greenzyme*

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai Qo mengalami kenaikan yang cukup tinggi setelah dilakukan stimulasi, hal ini juga diakibatkan oleh nilai water cut yang turun dari 65% menjadi 60%. Dimana nilai PI juga meningkat dari 4,083 bopd/psi menjadi 12,94 bopd/psi. Sumur ini mengalami peningkatan produksi cukup tinggi.

4.1.1.2 Data CBL Sumur LG #43



Gambar 4.5 Data CBL Sumur LG #43

Dari data diatas dilihat bahwa pada interval 506' – 567' kondisi semen atau kualitasnya bagus (good bonding) karna nilai log yang di tunjukan pada CBL

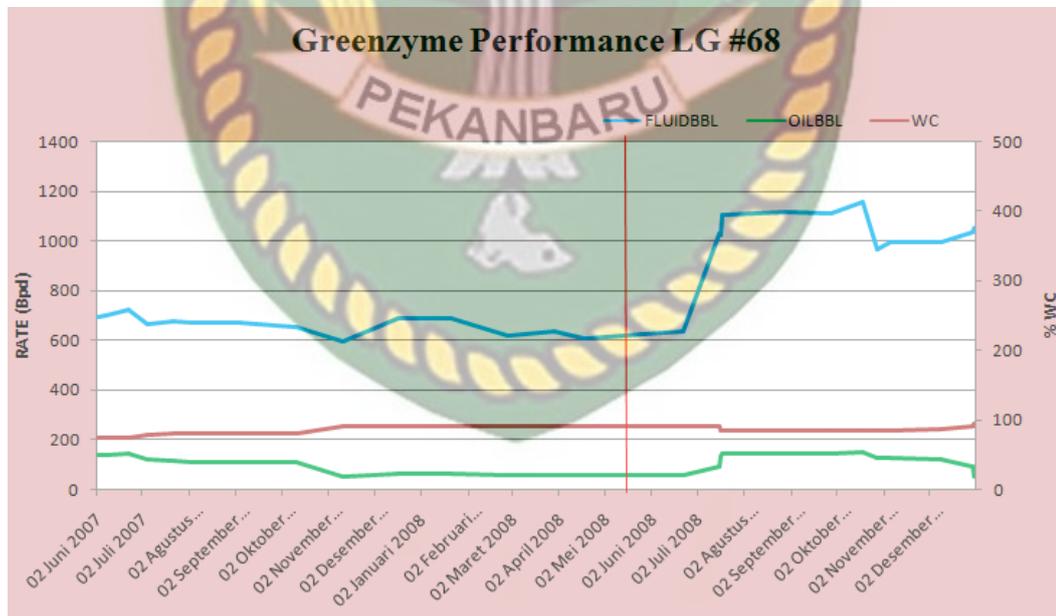
dengan nilai 8 mV, dimana pada lapangan Lenggogeni kondisi semen yang baik ditunjukkan pada rentang nilai CBL 1 – 10 mV.

4.1.2 Sumur Produksi LG #68 Sebelum dan Sesudah Stimulasi

Stimulasi *greenzyme* sumur LG #68 dilakukan pada tanggal 5 Juli 2008. Sumur LG #68 efektif diproduksi pada kedalaman 550' sd pada formasi bekasap. Produksi terakhir sebelum stimulasi *greenzyme* 576 BFPD, 57,6 BOPD, dan water cut 90%.

Sumur LG #68 pada awal produksi setelah stimulasi adalah 912 BFPD, 18,24 BOPD, dan water cut 98 %. Pada hari ke-3 stimulasi produksi mulai stabil yaitu 960 BFPD, 144 BOPD, dan water cut 85 %.

Dilihat dari hasil produksi setelah stimulasi, sumur ini mengalami kenaikan produksi yang cukup tinggi dan water cut nya turun dari 90% menjadi 85% dimana ini sangat diharapkan dalam produksi. Jadi pada sumur ini dikatakan sukses untuk pekerjaan stimulasi *greenzyme* ini.



Gambar 4.6 Sumur LG#68 Sebelum dan Sesudah Stimulasi *Greenzyme*

4.1.2.1 Perhitungan PI untuk Sumur LG #68

Tabel 4.5 Test Data Sumur LG #68 Sebelum dan Setelah Stimulasi *Greenzyme* :

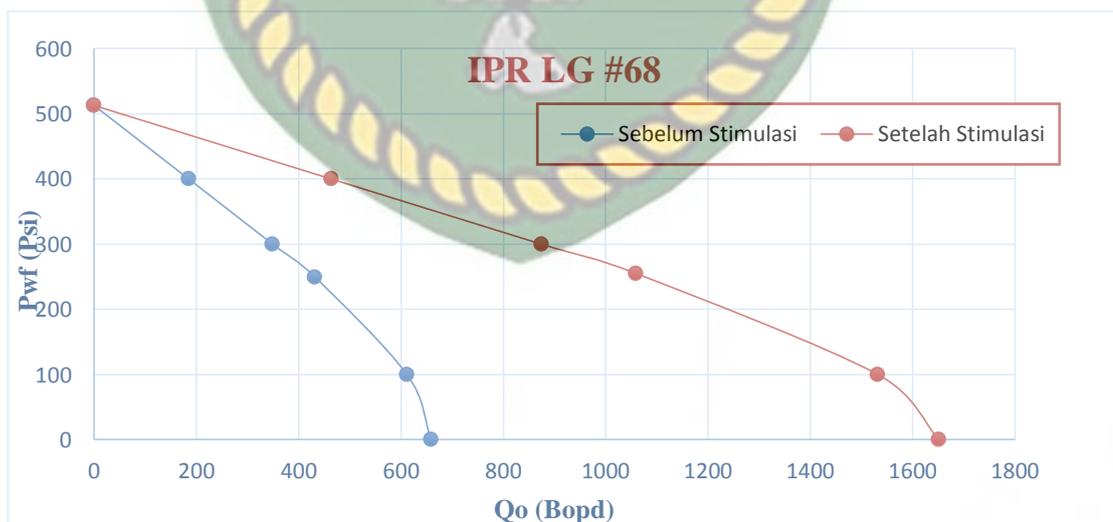
	Top Perfo	Bottom Perfo	SFL	WFL	WC (%)	Qo (Bopd)	API
Sebelum	667	678	144	226	90	57,6	31
Setelah					85	144	

Dengan menggunakan perhitungan berikut, maka di dapatkan harga Pwf dan Ps. Kemudian hasil perhitungan tersebut digunakan untuk membuat kurva IPR.

Tabel 4.6 Perhitungan Qo dengan Pwf Sebelum dan Setelah Stimulasi LG #68

Sebelum		Setelah	
Pwf (Psi)	Qo (Bopd)	Pwf (Psi)	Qo (Bopd)
512,82	0	512,12	0
400	185,02	400	463,7
300	349,02	300	874,7
249,7	431,51	249,7	1059,6
100	611,6	100	1532,3
0	659,01	0	1651,56

Dari perhitungan diatas dapat dibuat kurva IPR sebelum dan setelah stimulasi *greenzyme* :

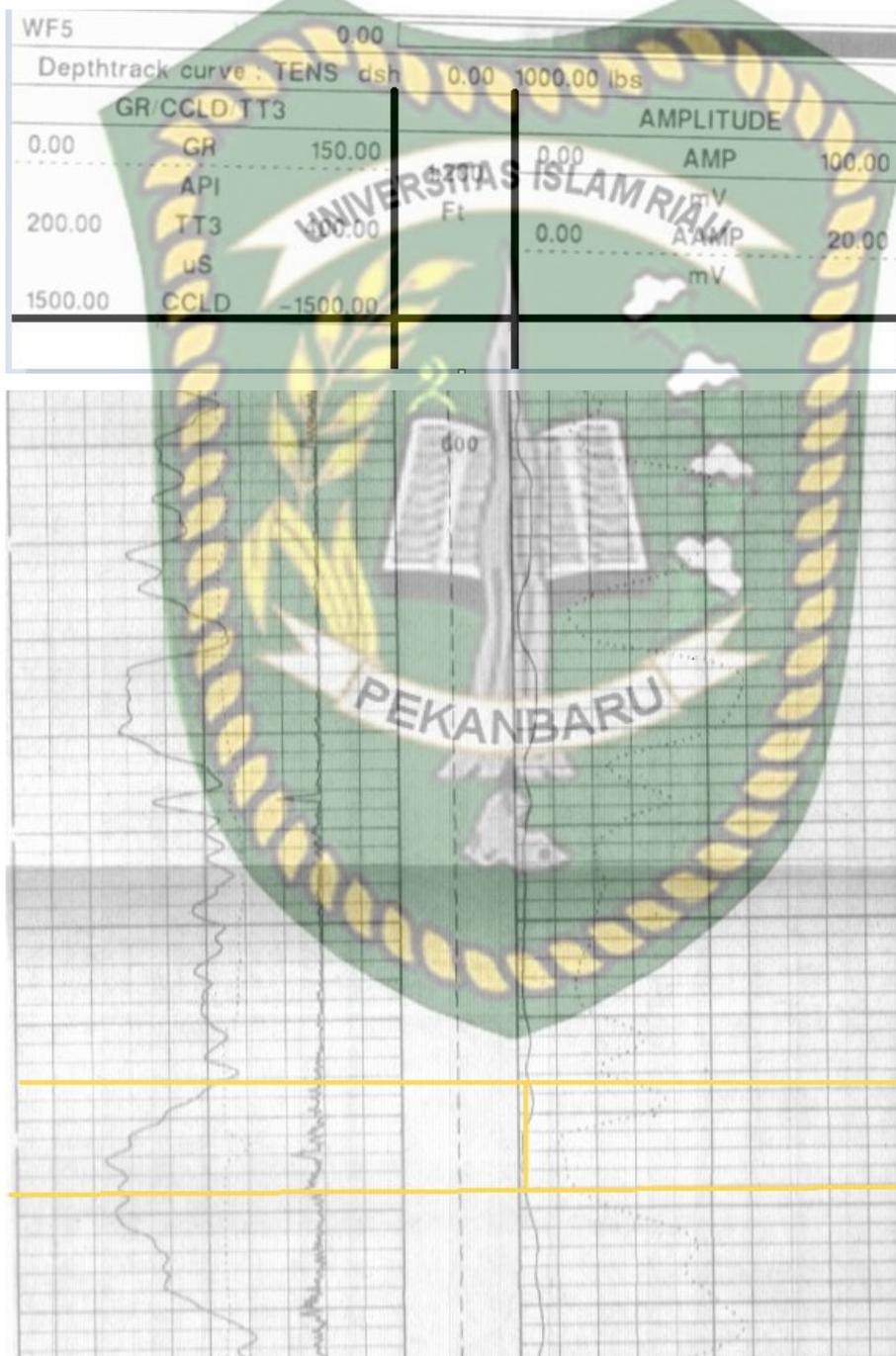


Gambar 4.7 IPR sumur LG #68 Sebelum dan Sesudah Stimulasi *Greenzyme*

Gambar 4.7 menunjukkan kenaikan nilai Qo setelah dilakukan stimulasi, dan dapat dilihat dari harga PI pada lampiran dimana sebelum dilakukannya stimulasi

nilainya 1,64 bopd/psi dan setelah dilakukan stimulasi nilai PI nya menjadi 4,11 bopd/psi.

4.1.2.2 Data CBL Sumur LG #68

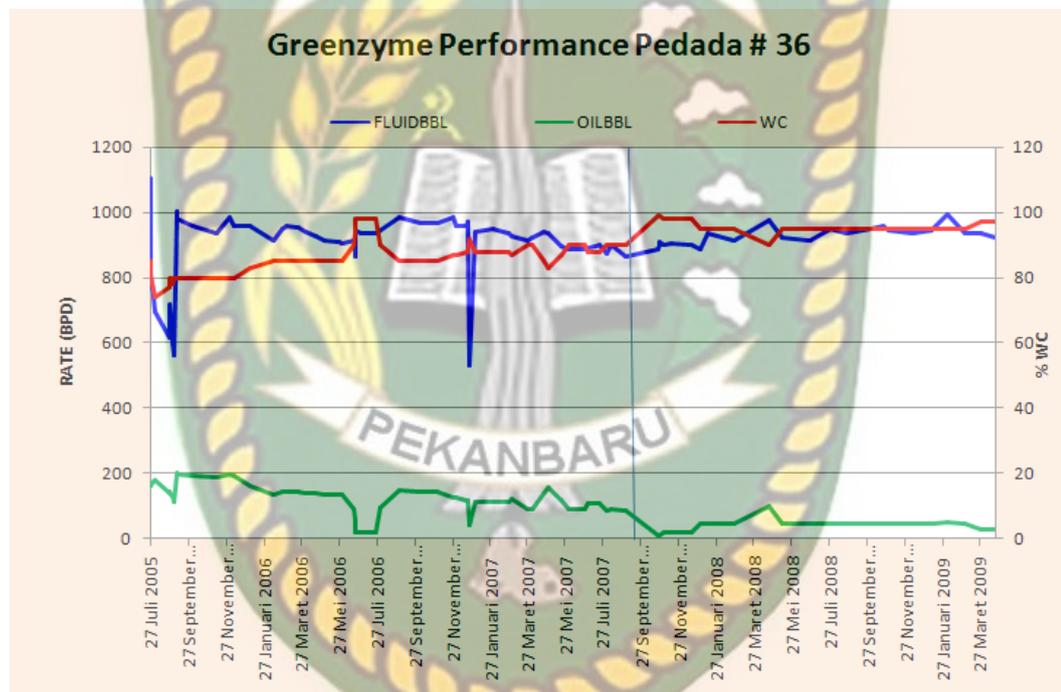


Gambar 4.8 Data CBL Sumur LG #68

Dari data diatas dilihat bahwa pada interval 667' – 678' kondisi semen atau kualitasnya bagus (good bonding) karna nilai log yang di tunjukan pada CBL dengan nilai 2 mV, dimana pada lapangan Lenggogeni kondisi semen yang baik ditunjukkan pada rentang nilai CBL 1 – 10 mV.

4.1.3 Sumur Produksi LG #36 Sebelum dan Sesudah Stimulasi

Stimulasi *greenzyme* sumur LG #36 dilakukan pada tanggal 17 Oktober 2007, dimana efektif dilakukan pada kedalaman 700'sd pada formasi bekasap. Berikut gambar 4.9 produksi sebelum dan setelah dilakukan stimulasi.



Gambar 4.9 Sumur LG #36 Sebelum dan Setelah Stimulasi *Greenzyme*

Tabel 4.7 Nilai Produksi Sebelum dan Setelah Stimulasi *Greenzyme*

Sebelum			Setelah		
BFPD	BOPD	WC (%)	BFPD	BOPD	WC (%)
864	86,4	90	888	8,88	99

Tabel 4.7 merupakan nilai produksi sebelum dan setelah dilakukan stimulasi. Dimana pada saat sumur belum dilakukan stimulasi water cut nya sudah tinggi dan produksi minyak rendah, setelah dilakukannya stimulasi water cut naik dan

hampir mencapai 100% dimana juga diikuti oleh produksi minyak yang turun drastis. Bisa dikatakan sumur ini gagal dalam pekerjaan stimulasi *greenzyme*.

4.1.3.1 Perhitungan PI untuk Sumur LG #36

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan PI Sebelum dan Setelah Stimulasi

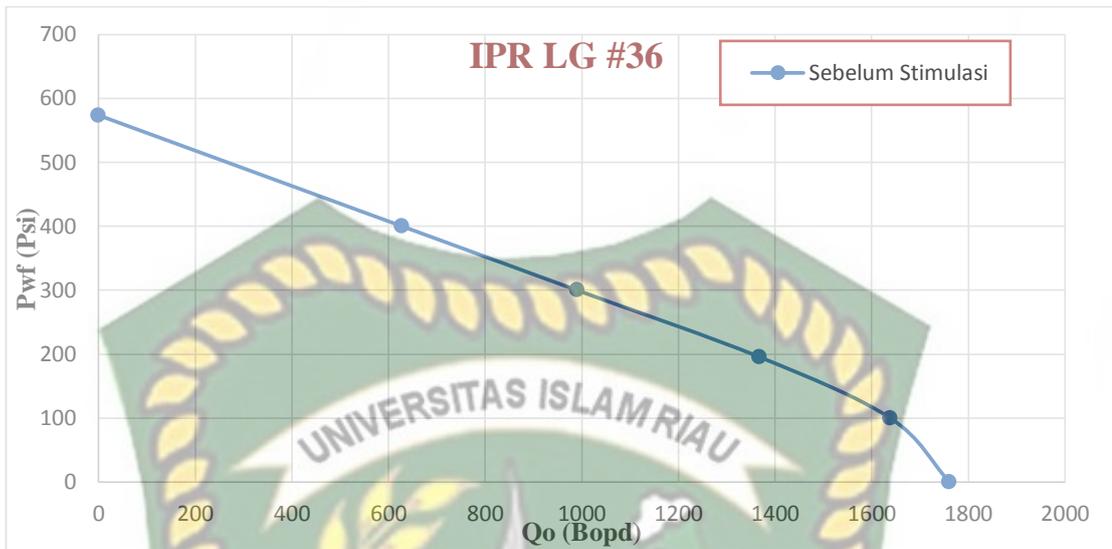
	PWF (Psi)	PS (Psi)	Qo (Bopd)	PI (Bopd/Psi)	Qmax (Bopd)
Sebelum	549,54	573,46	86,4	3,62	1761,07
Setelah			8,88	0,37	-

Tabel 4.8 merupakan hasil perhitungan nilai PI dan Qmax yang ada pada lampiran, serta pada tabel 4.9 merupakan hasil dari nilai Qo dengan Pwf asumsi.

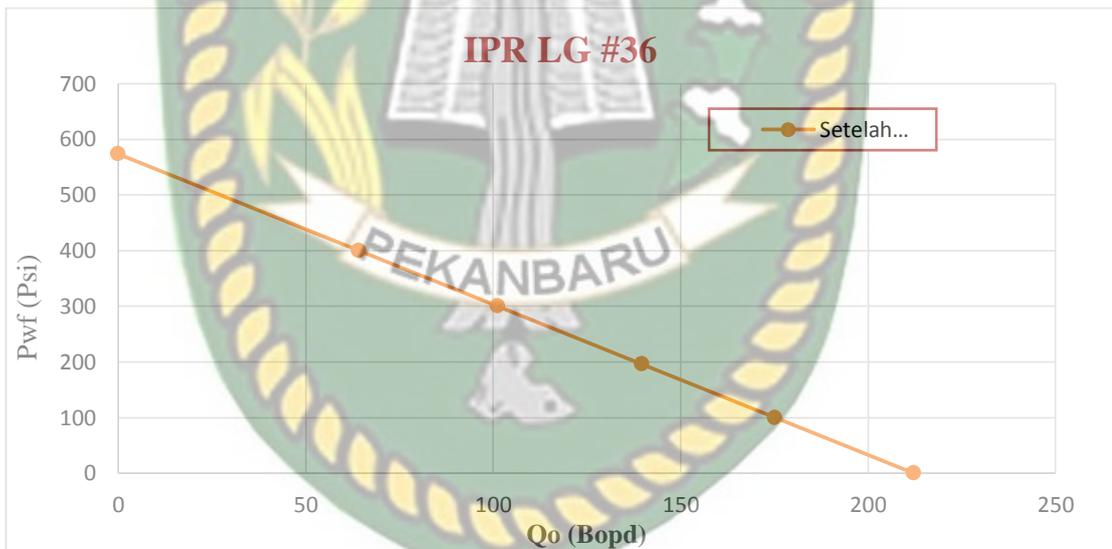
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Qo dengan Pwf Asumsi Sebelum dan Setelah Stimulasi

Sebelum		Setelah	
Pwf (Psi)	Qo (Bopd)	Pwf (Psi)	Qo (Bopd)
573,46	0	573,46	0
400	627,92	400	64,18
300	989,92	300	101,18
195,7	1367,5	195,7	139,7
100	1638,63	100	175,18
0	1761,07	0	212,18

Dari tabel 4.9 bisa dibuat kurva IPR sebelum dan setelah stimulasi *greenzyme*. Pada gambar 4.9 dibawah menunjukkan hasil yang tidak diinginkan dimana pada saat telah dilakukan stimulasi *greenzyme* produksinya semakin turun drastis ini diakibatkan karena terjadinya bad bonding (semen disamping casing tidak bagus) yang mengakibatkan air ikut terproduksi, dan juga apabila semen itu tidak bagus saat menginjeksikan fluida treatment ke dalam sumur tidak bekerja secara optimal ke lapisan yang dilakukan pekerjaan stimulasi tersebut. Proses ini tidak menjadi optimal disebabkan karena fluida treatment yang kita injeksikan akan merembes pada rekahan semen, jadi volume fluida treatment yang sampai pada zona tersebut tidak sesuai dengan berapa volume yang seharusnya di injeksikan.

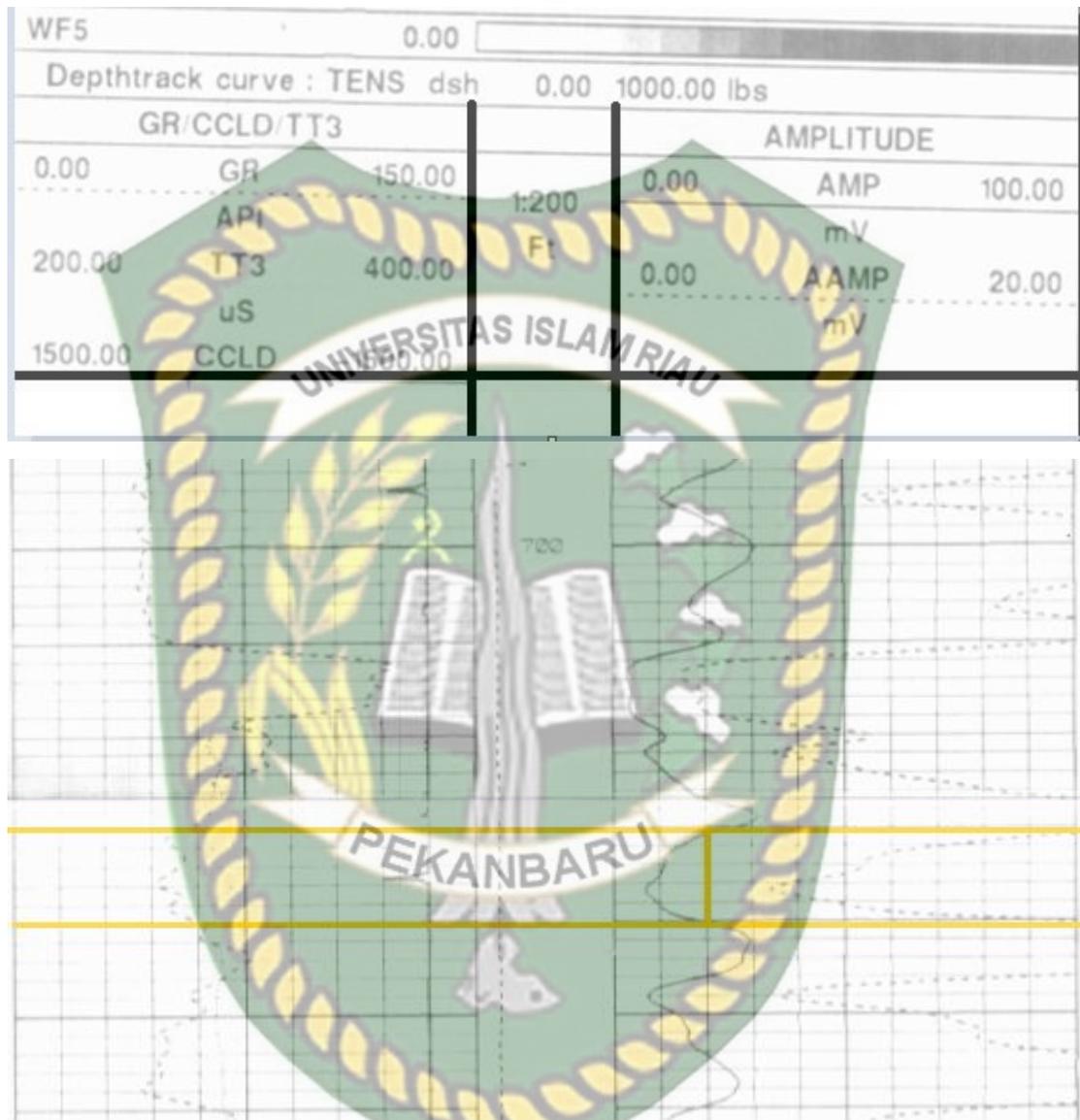


Gambar 4.10 IPR sumur LG #36 Sebelum Stimulasi *Greenzyme*



Gambar 4.11 IPR sumur LG #36 Setelah Stimulasi *Greenzyme*

4.1.3.2 Data CBL Sumur LG #36

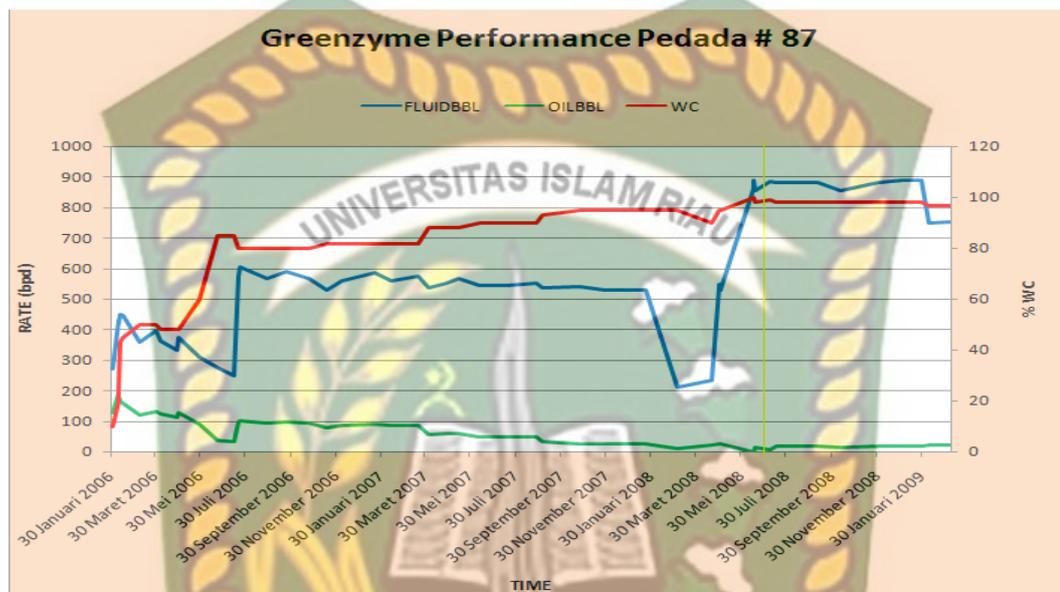


Gambar 4.12 Data CBL Sumur LG #36

Dari data diatas dilihat bahwa pada interval 730' – 740' kondisi semen atau kualitasnya bad bonding karna nilai log yang di tunjukan pada CBL dengan nilai 20 mV, dimana pada lapangan Lenggogeni kondisi semen yang baik ditunjukkan pada rentang nilai CBL 1 – 10 mV.

4.1.4 Sumur Produksi LG #87 Sebelum dan Sesudah Stimulasi

Stimulasi greenzyme sumur LG #87 dilakukan pada tanggal 5 Juni 2008 pada kedalaman 700' sd pada formasi bekasap. Pada gambar 4.13 menunjukkan hasil produksi sebelum dan setelah dilakukan stimulasi greenzyme.



Gambar 4.13 Sumur LG #87 Sebelum dan Setelah Stimulasi Greenzyme

Tabel 4.10 Nilai Produksi Sebelum dan Setelah Stimulasi Greenzyme

	Sebelum		Setelah		
	BFPD	BOPD	BFPD	BOPD	WC (%)
	510	25,5	864	16,8	98

Tabel 4.10 merupakan nilai produksi sebelum dan setelah dilakukan stimulasi. Dimana pada saat sumur belum dilakukan stimulasi water cut nya sudah tinggi dan produksi minyak rendah, setelah dilakukannya stimulasi water cut naik dan hampir mencapai 100% dimana juga terjadinya bad bonding (semen disamping casing jelek). Bisa dikatakan sumur ini gagal dalam pekerjaan stimulasi greenzyme.

4.1.4.1 Perhitungan PI untuk Sumur LG #87

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan PI Sebelum dan Setelah Stimulasi

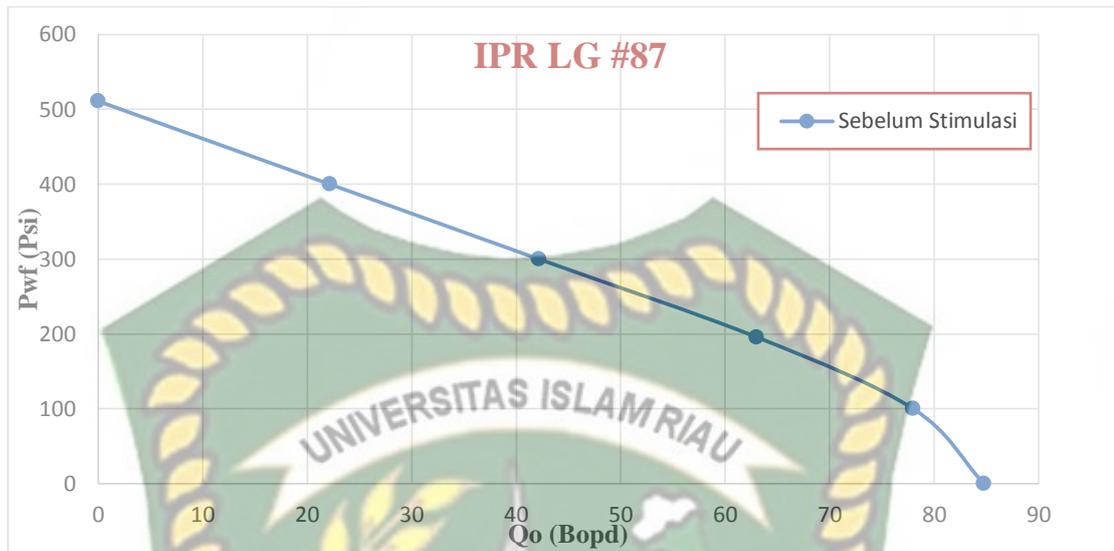
	PWF (Psi)	Pr (Psi)	Qo (Bopd)	PI (Bopd/Psi)	Qmax (Bopd)
Sebelum	381,41	510,84	25,5	0,20	84,77
Setelah			16,8	0,13	-

Tabel 4.11 merupakan hasil perhitungan nilai PI dan Qmax yang ada pada lampiran, serta pada tabel 4.11 merupakan hasil dari nilai Qo dengan Pwf asumsi.

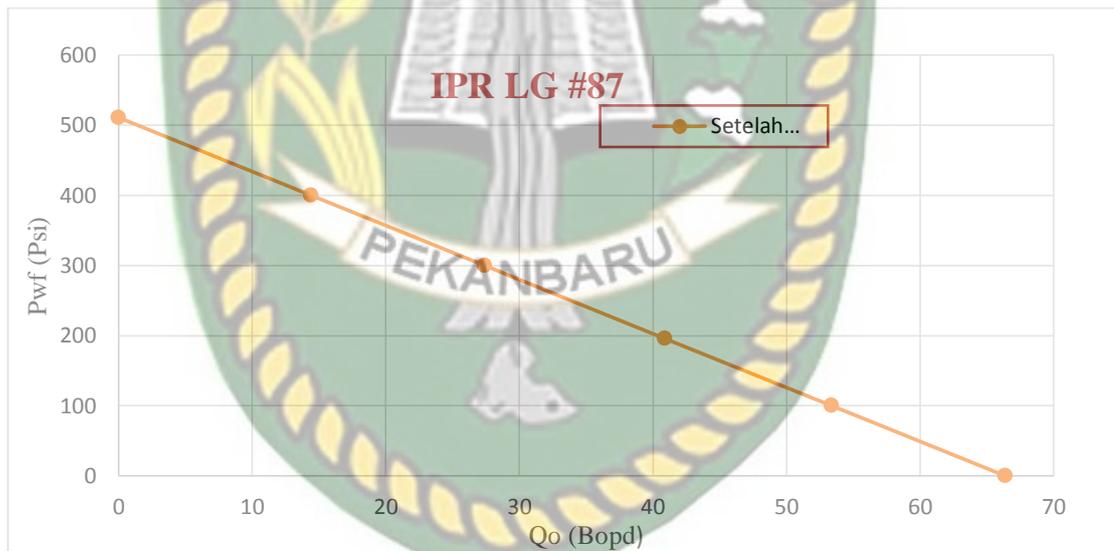
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Qo dengan Pwf Asumsi Sebelum dan Setelah Stimulasi

Sebelum		Setelah	
Pwf (Psi)	Qo (Psi)	Pwf (Psi)	Qo (Psi)
510,84	0	510,84	0
400	22,16	400	14,4
300	42,16	300	27,4
195,7	63,03	195,7	40,96
100	78	100	53,4
0	84,77	0	66,4

Dari tabel 4.12 bisa dibuat kurva IPR sebelum dan setelah stimulasi *greenzyme*. Pada gambar 4.9 dibawah menunjukkan hasil yang tidak diinginkan dimana pada saat telah dilakukan stimulasi *greenzyme* produksinya semakin turun drastis ini diakibatkan karena pada sumur ini water cut nya dari 95 menjadi 98.

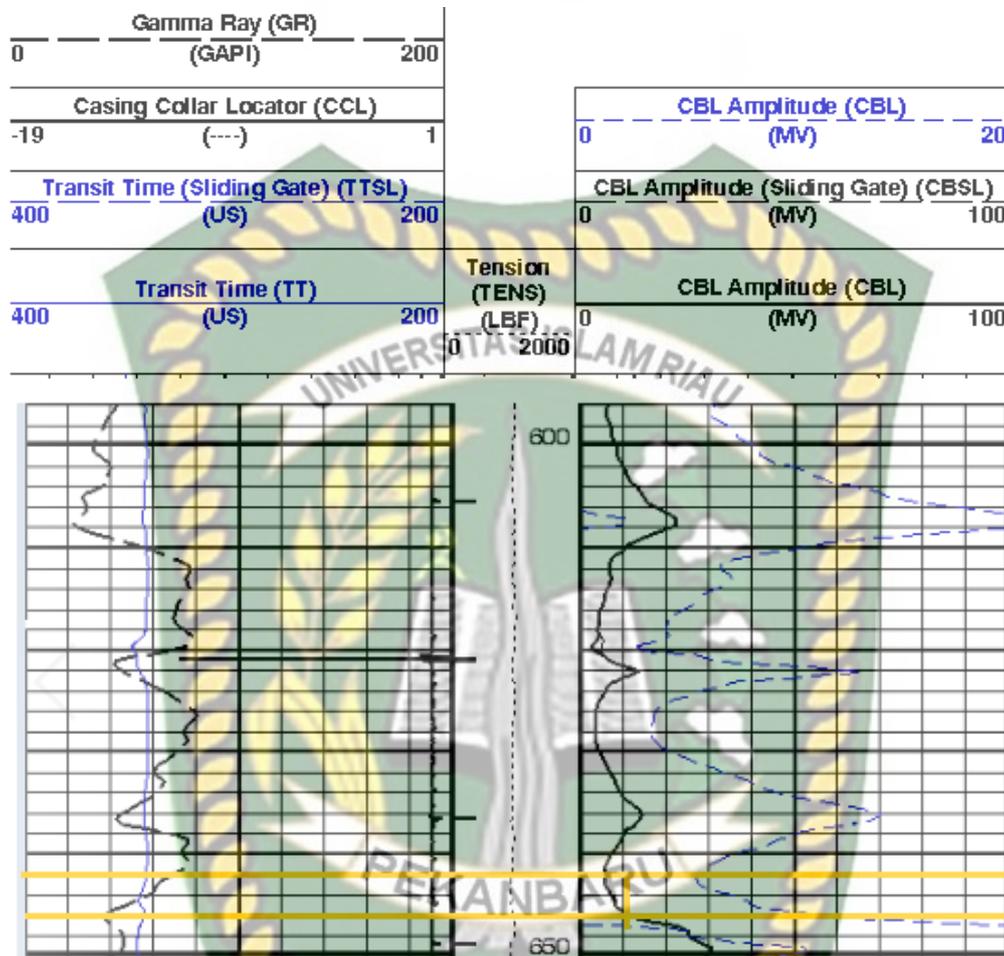


Gambar 4.14 IPR sumur LG #87 Sebelum Stimulasi *Greenzyme*



Gambar 4.15 IPR sumur LG #87 Setelah Stimulasi *Greenzyme*

4.1.4.2 Data CBL Sumur LG #87



Gambar 4.16 Data CBL Sumur LG #87

Dari data diatas dilihat bahwa pada interval 642' – 646' kondisi semen atau kualitasnya bad bonding karna nilai log yang di tunjukan pada CBL dengan nilai 12 mV, dimana pada lapangan Lenggogeni kondisi semen yang baik ditunjukkan pada rentang nilai CBL 1 – 10 mV.

4.2 Evaluasi Pekerjaan Stimulasi *Greenzyme*

Evaluasi terhadap pekerjaan stimulasi *greenzyme* sangat penting dilakukan agar dapat mengetahui apakah pekerjaan stimulasi dengan menggunakan enzim ini berhasil untuk peningkatan produksi sumur atau tidak. Yang mana hasil dari evaluasi tersebut dapat digunakan untuk perencanaan lebih lanjut untuk

meningkatkan produksi sumur lainnya. Pekerjaan stimulasi ini dilakukan pada 4 sumur (LG #43, LG #68, LG #36 dan LG #87).

Untuk perhitungan Qmax dan PI dapat dilihat pada table di bawah ini :

Tabel 4.13 Nilai Qmax dan PI sebelum dan setelah stimulasi *Greenzyme*

Sebelum			Setelah		
Sumur	Qmax (BOPD)	PI	Sumur	Qmax (BOPD)	PI
LG #43	1057,16	4,083	LG #43	3350,42	12,94
LG #68	659,01	1,64	LG #68	1651,56	4,11
LG #36	1761,07	3,62	LG #36	-	0,37
LG #87	84,77	0,20	LG #87	-	0,13

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa 2 sumur (LG #43 dan LG #68) yang telah dilakukan stimulasi greenzyme mengalami peningkatan produksi minyak yang disebabkan oleh turunnya watercut ini bisa dikatakan bahwa stimulasi yang dilakukan berhasil. Sedangkan 2 sumur lainnya (LG #36 dan LG #87) gagal dalam pekerjaan stimulasi ini, dilihat dari tabel di atas nilai PI turun setelah dilakukan stimulasi. Kegagalan ini diakibatkan karena terjadinya bad bonding (semen disamping casing jelek) sehingga air ikut terproduksi dan juga apabila semen itu tidak bagus saat menginjeksikan fluida treatment ke dalam sumur tidak bekerja secara optimal ke lapisan yang dilakukan pekerjaan stimulasi tersebut. Proses ini tidak menjadi optimal disebabkan karena fluida treatment yang kita injeksikan akan merembes pada rekahan semen, jadi volume fluida treatment yang sampai pada zona tersebut tidak sesuai dengan berapa volume yang seharusnya di injeksikan. Ini juga berpengaruh terhadap keekonomiannya dimana akan lama balik modalnya dan kejadian seperti ini tidak diharapkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Evaluasi pekerjaan stimulasi greenzyme upaya peningkatan produksi sumur di BOB (PT. BSP – Pertamina Hulu), maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisa diatas dapat disimpulkan bahwa 2 sumur sukses dilakukan stimulasi greenzyme (LG #43 dan LG #68) dan 2 sumur tidak sukses (LG #36 dan LG #87), kesuksesan stimulasi di tandai dengan meningkatnya harga PI setelah dilakukannya stimulasi. Pada sumur LG #43 mengalami peningkatan PI cukup drastis yaitu dari 4,08 bopd/psi menjadi 12,94 ini diikuti dengan penurunan water cut nya dari 65% menjadi 60%. Pada sumur LG #68 juga sukses dilakukan stimulasi harga PI juga meningkat dari 1,64 bopd/psi menjadi 4,11 bopd/psi dan diikuti dengan penurunan water cut dari 90% menjadi 85%.

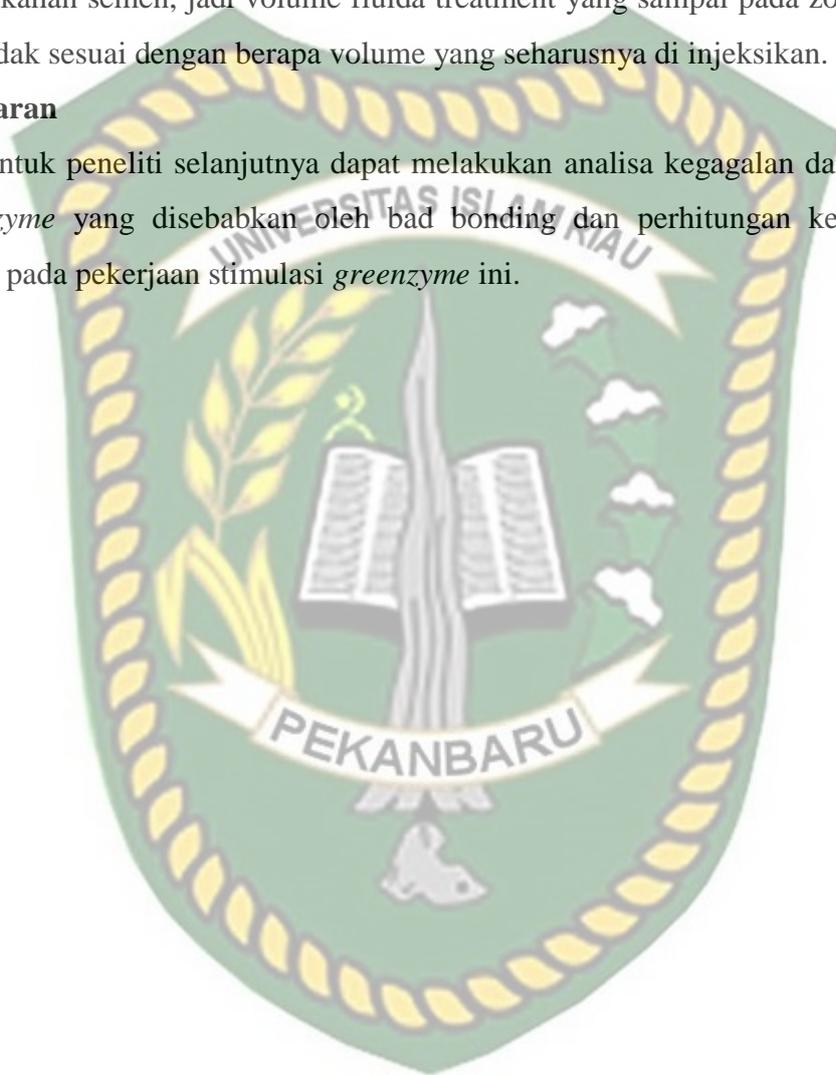
Pada sumur LG #36 tidak sukses dalam stimulasi greenzyme, bahkan sumur ini mengalami penurunan produksi yang sebelum stimulasi 86,4 BOPD menjadi 8,88 BOPD setelah stimulasi. Sumur LG #87 juga tidak sukses dalam pekerjaan stimulasi ini, karena diakibatkan produksi awalnya memang sudah rendah yaitu 25,5 bopd dan ketika dilakukan stimulasi produksi sumur ini semakin menurun menjadi 16,8 bopd dimana pada teori stimulasi ini tidak cocok pada sumur yang memiliki produksi awal rendah.

2. Berdasarkan hasil evaluasi nya terdapat 4 sumur yang dilakukan stimulasi, 2 sumur berhasil meningkatkan produksi minyak yang sangat signifikan dan diikuti dengan turunnya watercut sedangkan 2 sumur mengalami kegagalan peningkatan produksi minyak yang diakibatkan karena adanya bad bonding (semen disamping casing tidak bagus) yang mengakibatkan air ikut terproduksi. dan juga apabila semen itu tidak bagus saat menginjeksikan

fluida treatment ke dalam sumur tidak bekerja secara optimal ke lapisan yang dilakukan pekerjaan stimulasi tersebut. Proses ini tidak menjadi optimal disebabkan karena fluida treatment yang kita injeksikan akan merembes pada rekahan semen, jadi volume fluida treatment yang sampai pada zona tersebut tidak sesuai dengan berapa volume yang seharusnya di injeksikan.

5.2 Saran

Untuk peneliti selanjutnya dapat melakukan analisa kegagalan dari stimulasi *greenzyme* yang disebabkan oleh bad bonding dan perhitungan keekonomian sumur pada pekerjaan stimulasi *greenzyme* ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Anisa, M., & Sudibjo, R. (2015). Analisis Perencanaan Pengasaman Sumur Pada Sumur JRR-2 Dan JRR-4 Di Lapangan Y. *Seminar Nasional Cendekiawan*, 276.
- AST. (2018). Retrieved 09 12, 2018, from Apollo Separation Technologies, Inc: <https://www.apollogreenzyme.com/greenzyme>
- Astuti, Ariadji, Aditiawati, Purwasena, Persada, Ananggadipa, . . . Ardianto. (2017). A Comprehensive Prepration Study for Microbial Nutrient Injection of Microbial Enhanced Oil Recovery: Reservoir Screening And Laboratory Analysis - Case Study Bentayan Field. *SPE International* , 2.
- BTP. (2008). *Improved Oil Recovery & EOR Using Biological Enzymes*. Retrieved from Greenzyme: <http://bioenzymerecovery.com/greenzymeoilreleasemechanism.html>
- Cobianco, Albonico, Battistel, Bianchi, & Fornaroli, M. (2007). Thermophilic Enzyme for Filtercake Removal at High Temperature. *SPE International*, 2.
- Feng, Q. X., Ma, X. P., Zhou, L. H., Shao, D. B., Wang, X. L., & Qin, B. Y. (2009). EOR Pilot Tests With Modified Enzyme-Dagang Oilfield, China. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 79.
- He, L., & Zhonghong, Z. (2011). Biology Enzyme EOR for Low Permeability Reservoirs. *SPE International*, 1.
- Hermadi, G. (2009). Analisa Sistem Nodal Dalam Metode Artificial Lift. *Forum Teknologi*, 34.
- Ir. Joko Pamungkas, M. (2004). Pengantar Teknik Perminyakan. In J. Pamungkas, Sudarmoyo, Hariyadi, & A. Kabul, *Pengantar Teknik Produksi* (pp. II-3).

Yogyakarta: Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

- Jabbar, M., Azrak, O., Berthier, M., Blondeau, C., Al-Amrie, O., & Total, A. P. (2015). Application of Enzyme EOR In a Mature UAE Offshore Carbonate Oil Field. *SPE International*, 3.
- Jain, T., & Sharma, A. (2012). New Frontiers In EOR Methodologies By Application Of Enzymes. *SPE International*, 2.
- Kermit, B. E., & Beggs. (1984). *The Technology of Artificial Lift Methods*. Tulsa Oklahoma: Penn Well Publishing Co.
- Khusainova, A., Nielsen, S. M., Pedersen, H. H., Woodley, J. M., & Shapiro, A. (2015). Study of Wettability of Calcite Surface Using Oil-Brine-Enzyme Systems for Enhanced Oil Recovery Applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 53.
- Kusniawati, E., & Febriansyah, R. (2016). Pengujian Sumur HP-01 Pada Reservoir EP-B Dengan Menggunakan Metode Pressure Build Up Di Lapangan Prabumulih PT.Pertamina EP Asset 2. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 25.
- Makky, H., & Kasmungin, S. (2015). Peningkatan Perolehan Minyak Dengan Optimalisasi Proyek Cyclic Steam Stimulation Menggunakan Metode Simulasi Reservoir Di Lapangan-X, Sentral Sumatera. *Seminar Nasional Cendekiawan* , 464.
- Musnal, A. (2010). Mengatasi Kerusakan Formasi Dengan Metoda Pengasaman Yang Kompetibel Pada Sumur Minyak Dilapangan X. *Jurnal of Eart, Energy, Engineering Jurusan Teknik Perminyakan - UIR*, 2.
- Nasiri, H., Spildo, K., & Skauge, A. (2009). Use Of Enzymes To Improve Waterflood Performance. *Center For Integrated Petroleum Research (CIPR), Bergen, Norway*, 2.

- NIXUS International Corporation. (2014). *Greenzyme Enhanced Oil Recovery*. Retrieved from NixusEOR: http://www.nixuseor.com/wp-content/uploads/2014/05/GreenZyme_Info_Sheet.pdf
- Raharjo, A. (2016). Evaluasi Perhitungan Potensi Sumur Minyak Tua Dengan Water Cut Tinggi. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, 125.
- Wang, Kantzas, Li, Z., & Zhao. (2008). New Agent for Formation-Damage Mitigation in Heavy-Oil Reservoir : Mechanism and Application. *SPE International*, 1.
- William, Nyo, T., Aung, W. N., & Khaing, A. T. (2011). EEOR Success In Mann Field, Myanmar. *SPE International*, 2.
- Yolanda, A. G., Latumaerissa, M., Fathaddin, M. T., & Wdi, C. (2015). Evaluasi Hydraulic Fracturing Sumur ID-18, ID-25, Dan ID-29 Pada Lapangan A. *Seminar Nasional Cendekiawan*, 548.
- Zukfekar. (2012). Injeksi Huff and Puff Surfaktan di Lapangan TAC Pertamina EP- BWP Meruap Jambi. *Jurnal IATMI*, 4.